PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 4 — 15. Februar 1928 — 29. Jahrgang

Redaktionsschluß für Nr. 6 am 10. März 1928

INHALT:

F. Henning, Ferdinand Kurlbaum. S. 97.

Originalmitteilungen:

F. Kautzsch, Beeinflussung der Dielektrizitätskonstanten durch elektrostatische Felder. S. 105.

G. Joos, Die Verlagerung der Reststrahlen ins sichtbare Spektralgebiet. S. 117.

L. Prandtl, Bemerkung zu der Arbeit: F. Ahlborn, Die Theorie der diskontinuierlichen Flüssigkeitsbewegungen und die Wirklichkeit. S. 118.

Besprechungen:

Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt und dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Metallforschung in Berlin-Dahlem. S. 119.

Pautsch, Methode of applied geophysics for the exploration of oil, ores and other useful deposits. S. 120.

A. Gyemant, Grundzüge der Kolloidphysik vom Standpunkte des Gleichgewichts. S. 120.

Personalien. S. 120.

Ferdinand Kurlbaum[1]).

Von F. Henning.

In der Frühe des 29. Juli 1927 ist Ferdinand Kurlbaum kurz vor Vollendung seines 70. Lebensjahres von uns gegangen, tief betrauert nicht nur von seiner Familie und seinen zahlreichen Freunden, sondern auch von seinen Fachgenossen, die in ihm einen der Mitbegründer jenes großen Aufstieges in unserer Wissenschaft verehren, durch den die deutsche Physik unter Führung von Max Planck eine überragende Stellung gewann. Kurlbaum schuf zusammen mit Lummer, Rubens und Ernst Pringsheim die experimentellen Grundlagen, auf denen sich die Quantentheorie in ihren Anfängen aufbaute.

Keiner seiner Mitarbeiter aus jener Zeit weilt mehr unter den Lebenden, und von seinen alten Freunden aus dem Jahrzehnt um die Jahrhundertwende kann heute keiner mehr das Wort zu einer Gedächtnisrede nehmen. Damit fallen der nachrückenden Generation Pflichten zu, die ihr eindringlich zum Bewußtsein bringen, daß sie immer mehr zum Träger der Tradition wird, die sie von dem voraufgehenden Geschlecht übernommen und die sie an das nachfolgende Geschlecht weiterzugeben hat. So ist mir der Auftrag geworden, heute vor Ihnen über Ferdinand Kurlbaum zu sprechen, und zwar hier in diesem Saal, in dem so oft seine Stimme erschallte, um einer großen Schar von Schülern die für ihren Beruf notwendigen physikalischen Kenntnisse zu vermitteln.

Ich unterziehe mich der mir gestellten Aufgabe in dem Gefühl aufrichtiger Freundschaft, die ich dem Dahingeschiedenen entgegenbrachte, und die mir das Andenken an ihn stets lebendig halten wird. Die Geradheit seines Wesens und die Ruhe, die von seiner Persönlichkeit ausging, haben zusammen mit seinem unvergleichlichen Erzählertalent in hohem Maße die Sympathien hervorgerufen, die er allerorten fand. Es ist nicht leicht, sich die harte Tatsache klarzumachen, daß dieser rüstige Mann, dem niemand sein Alter ansah, und der noch vor gar nicht so langer Zeit mit großer Gewandtheit das hohe Gitter um das Gelände der Technischen Hochschule überstieg, weil die benachbarte Pforte verschlossen war, nicht mehr unter uns weilt. Wer erinnerte sich nicht gern an seine hohe Gestalt mit dem fein geschnittenen Gesicht und den gütigen

1) Gedächtnisrede, gehalten im Hörsaal des physikalischen Instituts der Technischen Hochschule Charlottenburg am 16. Dezember 1927.

blauen Augen! Er nahm ja häufig an unsern Sitzungen teil, und manch einer wird noch mit Freude an die Vorträge denken, die er in früheren Jahren über seine wissenschaftlichen Untersuchungen oft in der Physikalischen Gesellschaft gehalten hat. Aber auch den jungen Mitgliedern unserer Vereine wird noch wohl im Gedächtnis sein, in wie liebenswürdiger und geistvoller Weise Kurlbaum bei der Feier des 80. Geburtstages unseres sehr verehrten Präsidenten Warburg dem Jubilar seine Glückwünsche darbrachte. Wem wäre es nicht eine Freude gewesen, sich mit ihm über Fragen aus seinem Fachgebiet oder über Fragen des täglichen Lebens zu unterhalten!

Bei seiner wissenschaftlichen Arbeit kamen ihm die guten und fruchtbringenden Ideen dank einer ausgezeichneten Begabung ohne Mühe; sie in schwerem Ringen zu erarbeiten, hätte auch seiner ganzen Veranlagung und, wie ich glaube, auch seiner ausgesprochen rein germanischen Abstammung nicht entsprochen. Ständig beschäftigte ihn die Natur mit ihren mannigfaltigen Erscheinungen; doch liebte er es, besonders in den späteren Jahren, weit mehr sie unmittelbar zu sich sprechen zu lassen, als daß er ihr durch kompliziert ausgedachte Experimente bestimmte Fragen vorlegte. Sein Interessengebiet war sehr groß, es umspannte außer der Physik die Biologie und Zoologie ebenso wie die Botanik, und in seinen Mußestunden suchte er mit ganz besonderer Vorliebe die Einsamkeit des heimatlichen Waldes auf, wo er in seiner Art allen diesen Wissensgebieten nachgehen konnte. Er kannte den Wald und sein Getier so gut wie wenige, und er hatte sich auf diesem Gebiet schließlich so umfangreiche Kenntnisse erworben, daß er in dieser Beziehung den berufensten Vertretern des Forstfaches nicht nachstand.

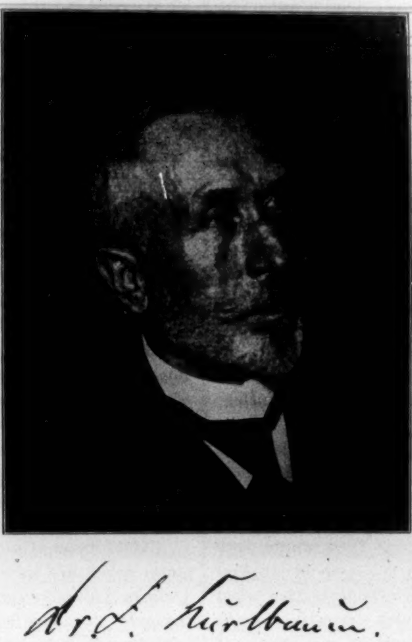
Wir aber wollen heute das Gedächtnis des Physikers Kurlbaum feiern, indem wir zugleich mit einem kurzen Rückblick auf den äußeren Verlauf seines Lebens an unserm Geiste vorüberziehen lassen, was er zur Förderung unserer Wissenschaft getan hat, und indem wir uns im stillen geloben, ihm den Dank, den wir ihm schulden, über das Grab hinaus zu bewahren.

Ferdinand Kurlbaum wurde am 4. Oktober 1857 als Sohn des damaligen Kreisrichters Karl Kurlbaum in Burg bei Magdeburg geboren. Wenige Tage nach der Geburt starb seine Mutter, und der Knabe wurde von der Schwester seines Vaters in Kassel erzogen. Er kehrte erst im Alter von 6 Jahren, nachdem der Vater zum zweitenmal geheiratet hatte, in das Elternhaus zurück. Der Zwang der Schule war für ihn eine rechte Qual, und seine Interessen richteten sich viel lieber auf die Dinge, mit denen das Leben ihn außerhalb der Schule umgab. Durch vielfache Versetzungen des Vaters, der schließlich nach Berlin zur Kommission für die Abfassung des Bürgerlichen Gesetzbuches berufen wurde, war Ferdinand Kurlbaum genötigt, häufig das Gymnasium zu wechseln. Er berichtete gern, daß dies siebenmal geschah, allerdings nicht immer wegen der Versetzung des Vaters, und daß er einmal die Schule verlassen mußte, weil er einem seiner Lehrer gegenüber (wegen vermeintlich ungerechter Behandlung) allzu energisch protestiert hatte. So war Kurlbaum schließlich 23 Jahre alt, als er nach bestandenem Abiturientenexamen endlich auf die Universität ziehen konnte.

Er bietet mit seiner späten geistigen Entwickelung ein merkwürdiges Beispiel für diese in nordischen Ländern nicht selten beobachtete Eigentümlichkeit, und wir müssen fast staunen, daß der schlechte Schüler nach vierjährigem Studium in Heidelberg und Berlin auf Grund umfangreicher experimenteller Untersuchungen eine Dissertation schrieb, von der Helmholtz rühmte, daß sie nicht nur eine große Schärfe des mathematischen Gedankens bewiese, sondern auch von dem seltenen experimentellen Geschick des Autors Zeugnis ablege.

Die Doktorarbeit, welche er im Jahre 1887 vollendete, betraf eine neue Bestimmung der Wellenlänge von 13 Fraunhoferschen Linien des Sonnenspektrums. Er bediente sich hierzu zweier Plangitter, deren Gitterkonstante er mit hervorragender Sorgfalt un-

ter besonderer Berücksichtigung der periodischen Teilungsfehler ermittelte. So gelangte er zu einem Ergebnis hoher Genauigkeit, das die älteren Zahlen Ångströms nicht unwesentlich an Zuverlässigkeit übertraf. Seine Erstlingsarbeit war sogleich eine Präzisionsuntersuchung im besten Sinne des Wortes. Ihr wurde nicht dadurch Abbruch getan, daß die Potsdamer Astronomen Müller und Kempf eine Veröffentlichung über denselben Gegenstand herausbrachten, und auch heute, nachdem auf diesem Gebiete erhebliche Fortschritte durch die von Macé de Lépinay geschaffene interferometrische Methode erzielt sind, findet sich die Kurlbaumsche Zahl für die Wellenlänge der Natriumlinie (mit einem Hinweis auf die Dissertation) noch in unserem großen physikalischen Tabellenwerk.



Die Doktorarbeit war im Helmholtzschen Institut unter der speziellen Leitung von Kayser ausgeführt, der damals dort Assistent war. Nachdem Kayser an das Physikalische Institut der Technischen Hochschule Hannover berufen war, zog er Kurlbaum mit sich, der dort als Assistent vom Herbst 1887 bis zum Frühjahr 1891 verblieb. Am 1. April dieses Jahres trat Kurlbaum in die Physikalisch-Technische Reichsanstalt über und wurde dem unter Lummers Führung stehenden optischen Laboratorium zugeteilt. In seinem neuen Wirkungskreis fand er eine Fülle von Problemen, die der Bearbeitung harrten, dazu einen sehr angeregten und wissenschaftlich vielseitig interessierten Kreis, dem auch Willy Wien angehörte. In erster Linie handelte es sich um Fragen aus dem Gebiet der Strahlung, dem Kurlbaum dann sein ganzes Leben über treu geblieben ist. Man war schon damals, also jetzt vor 36 Jahren, aufs eifrigste bemüht, eine reproduzierbare Lichteinheit hoher Genauigkeit aufzufinden, ein Wunsch, der bekanntlich bis heute noch nicht in Erfüllung gegangen ist. In Gemeinschaft mit Lummer setzte sich Kurlbaum zum Ziel, durch Flächenbolometer, die in der Wheatstoneschen Brückenschaltung angeordnet waren, die Strahlung verschiedener Glühlampen miteinander zu vergleichen und womöglich die Lichteinheit auf eine absolute Wärmestrahlungseinheit zurückzuführen.

Die Bedingungen für die größte Empfindlichkeit des Bolometers wurden sorgfältig erörtert, und nachdem sich herausgestellt hatte, daß es am günstigsten ist, möglichst dünne Metallbänder zur Auffangung der Wärmestrahlen zu verwenden, wurde jene schöne Methode zur Auswalzung von Platinfolien mit Silberblech ausgearbeitet, die es möglich machte, Blechstärken von 0,001 mm Dicke und weniger herzustellen. Noch bewundernswerter ist das große Geschick, mit dem Kurlbaum aus diesen dünnen Folien ein System von mäanderartig zusammenhängenden Streifen herausschnitt und auf einen Schieferrah-

men spannte. Auch das Verfahren zur Schwärzung der Streifen mit dem Ruß einer Petroleumflamme, die sogenannte kalte Berußung, bei der keine dauernde Widerstandsänderung des Platinstreifens eintrat, wurde auf Grund vielfacher Versuche damals eingehend beschrieben.

Während bisher mit dem Bolometer nur relative Beobachtungen möglich waren, gelang es Kurlbaum im Jahre 1893, dies Instrument zur absoluten Messung von Strahlungsintensitäten brauchbar zu machen, wobei er vor einem ähnlichen Gedanken Ångströms zweifellos die Priorität für sich in Anspruch nehmen durfte. Das von Kurlbaum angegebene Prinzip beruht darauf, daß die elektrische Energie gemessen wird, die infolge Joulescher Wärme den elektrischen Widerstand des Bolometers ebenso stark erhöht wie die auf das Bolometer treffende Wärmestrahlung.

Von der Idee bis zur Ausführung war natürlich noch ein beträchtlicher Schritt. Es stelllte sich bald heraus, daß die Methode der kalten Berußung zu ungleichmäßige Schichten lieferte, die auch bezüglich der Wärmeleitung nicht genügten. Erst der Überzug der Platinstreifen mit Platinschwarz führte zu dem erstrebten Ziel. Nun schien tatsächlich der Weg zur einwandfreien Festlegung einer Lichteinheit offen. Diese wurde, nach gemeinsam mit Lummer ausgeführten Versuchen, folgendermaßen definiert. Man bringt einen Platinstreifen durch elektrische Heizung zum Glühen und bestimmt die von 1 cm² seiner Oberfläche ausgehende Strahlung mittels des Bolometers, 1. wenn das Platin frei strahlt, 2. wenn zwischen Platinstreifen und Bolometer ein Quarztrog mit Wasser von vorgeschriebenen Abmessungen eingeschaltet wird. Die Strahlungsintensitäten in diesen beiden Fällen sollen sich wie zwei näher festzusetzende Zahlen, etwa wie 10 zu 1, verhalten. Dann ist die Temperatur und auch die Helligkeit des glühenden Platinstreifens eindeutig gegeben. Die Autoren hofften, die Lichteinheit auf diese Weise mit 1 Proz. Genauigkeit festlegen zu können. Später hat sich leider gezeigt, daß die damals zur Verfügung stehenden Mittel nicht ausreichten, um die wachsenden Ansprüche der messenden Physik zu befriedigen. Aber damals wurden diese Versuche mit Recht sehr hoch gewertet, denn sie bedeuteten einen kraftvollen Vorstoß in Richtung auf das gesteckte Ziel.

Kurlbaum reiste im Jahre 1893 zusammen mit Helmholtz und Lummer zur Weltausstellung nach Chikago und führte den dort gleichzeitig zu einem Kongreß vereinigten Physikern aller Länder sein neues Flächenbolometer vor. Die Konstruktion dieses Apparates konnte als handgreifliches Symbol genommen werden für die Pläne und Wege, welche der damals noch so jungen Physikalisch-Technischen Reichsanstalt von ihrem ersten Präsidenten vorgezeichnet waren. Die amerikanische Reise bedeutete für Kurlbaum auch einen bedeutenden persönlichen Gewinn. Nach Erledigung der dienstlichen Aufgaben besuchte er die größten Sehenswürdigkeiten Amerikas und lernte den Yellowstone-Park und Kalifornien kennen. Er hat oft davon gesprochen und seinem interessanten Bericht gern hinzugefügt, daß der gestrenge Präsident des Kuratoriums der Reichsanstalt den Nachurlaub nicht anerkennen wollte, den Kurlbaum in Amerika von Helmholtz erbeten hatte.

Nach dieser Unterbrechung nahm die ernste Arbeit in Charlottenburg wieder ihren Fortgang. Kurlbaum stellte die heute wohlbekannte Tatsache fest, daß die Empfindlichkeit seines Bolometers unter sonst gleichen Umständen im Vakuum mindestens doppelt so groß ist wie in Luft von Atmosphärendruck. Im Anschluß an diese Beobachtungen ließ er in einem abschließbaren und mit verschiedenen Gasen gefüllten Raum ein geheiztes Bolometer auf ein zweites strahlen, das nur vom Meßstrom durchflossen wurde, und bestimmte auf diese Weise die Absorption einer Kohlensäureschicht von gegebener Dicke.

Aus dem Jahre 1898 stammt die berühmte, mit Lummer zusammen veröffentlichte Mitteilung über „den elektrisch geglühten, absolut schwarzen Körper", der in unveränderter

Form noch heute das Fundament für alle Messungen der Licht- und Wärmestrahlung im Gebiet hoher Temperaturen bildet. Wenn nicht durch eigene Anschauung, so kennt doch jeder Physiker mindestens aus den Lehrbüchern die Konstruktion dieses schönen Apparates, jenes mit verschiedenen Blenden versehenen zylindrischen Hohlraums aus einer schwer schmelzbaren keramischen Masse, die von einer elektrisch heizbaren Platinhaut umschlossen ist und ohne Schwierigkeit auf Temperaturen bis etwa 1500° gebracht werden kann. Lummer und Kurlbaum maßen die Temperatur mit einem Thermoelement, das durch Vergleich mit einem Gasthermometer geeicht war, und konnten auf Grund relativer Messungen mit dem mehrfach genannten Flächenbolometer sofort eine sehr befriedigende Bestätigung des Stefan-Boltzmannschen Gesetzes der Gesamtstrahlung bis herauf zu 1200° geben.

Ein Jahr später berichtete Kurlbaum über weitere Ergebnisse seiner Messungen an der Gesamtstrahlung des schwarzen Körpers, die zum erstenmal einen zuverlässigen Wert für die Stefan-Boltzmannsche Konstante lieferten. Die bisher aus anderweitigen Untersuchungen errechnete Größe für diese Konstante war erheblich zu niedrig, während Kurlbaums Zahl, nachdem er sie auf Grund besonderer Messungen noch wegen der mangelnden Schwärze des Bolometers und wegen der Temperaturdifferenz zwischen der bestrahlten und der nicht bestrahlten Seite des Bolometerstreifens korrigiert hatte, von dem heute geltenden wahrscheinlichsten Wert nur noch um etwa 5 Proz. abwich. Wie groß die experimentellen Schwierigkeiten bei dieser Untersuchung waren, kann man daran ermessen, daß die Stefan-Boltzmannsche Konstante auch heute trotz zahlreicher Neubestimmungen nach den verschiedensten Methoden noch keineswegs mit der zunächst sehr wünschenswerten Genauigkeit von 1 Proz. sichergestellt ist.

Die letzte, gemeinsam mit Lummer durchgeführte Untersuchung bezieht sich auf die photometrische Helligkeit des schwarzen Körpers in Abhängigkeit von der Temperatur. Sie ist in Fachkreisen sehr bekannt geworden, und die Tatsache, daß nach diesen Versuchen die Helligkeit des schwarzen Körpers bei 1000° C mit der 19. Potenz der Temperatur wächst, wurde damals viel besprochen. Die Beobachtungsergebnisse wurden nur in knapper Form mitgeteilt, aber sowohl das Problem selbst als auch die kurz angedeuteten Pläne zur Abänderung und Verfeinerung der Messungen sind für viele Leser sehr anregend gewesen. Ich nenne hier nur den Vorschlag, die photometrische Helligkeit des schwarzen Körpers aus der Wienschen Strahlungsgleichung und der Kurve für die spektrale Augenempfindlichkeit herzuleiten, der später von anderer Seite in die Tat umgesetzt wurde.

Es ist eigentlich erstaunlich, daß die Autoren ihre schönen Beobachtungen so wenig ausgeschöpft haben, denn ihre Messungen waren durchaus genau genug, um festzustellen, daß das Produkt der absoluten Temperatur mit jener Potenz, die die Steigerung der Helligkeit bestimmt, konstant ist, und daß die Helligkeit des schwarzen Körpers sehr nahe ebenso mit der Temperatur steigt wie die monochromatische Intensität bei der Wellenlänge des grünen Lichtes.

Fast gleichzeitig mit der Untersuchung über die Helligkeit des schwarzen Körpers führte Kurlbaum gemeinsam mit Heinrich Rubens in dessen Laboratorium an der Technischen Hochschule zu Charlottenburg diejenigen Messungsreihen über die Strahlungsintensität des schwarzen Körpers bei den Reststrahlen des Flußspates und des Steinsalzes aus, die den letzten Anstoß zur Aufstellung der Planckschen Strahlungsgleichung und somit zur Entstehung der Quantentheorie lieferten. Obwohl schon Lummer und Pringsheim die Gültigkeit der mit Hilfe der klassischen Physik abgeleiteten Wienschen Strahlungsgleichung durch sorgfältige Versuche in Frage gestellt hatten, so schienen doch andere Messungen die Wiensche Gleichung durchaus zu bestätigen. Die klare Entscheidung war nur zu erwarten, wenn die Beobachtungen im Gebiet jener langen Wellen

oberhalb $20\,\mu$ durchgeführt wurden, deren Entdeckung wir Heinrich Rubens verdanken, und wenn man für jene Messungen den schwarzen Körper bis herauf zu 1500^0 C heizte, wie es nur mit der Apparatur möglich war, an deren Herstellung Ferdinand Kurlbaum einen wesentlichen Anteil hatte. Das Wiensche Strahlungsgesetz versagte in der Tat bei dieser Feuerprobe, und die neue Plancksche Formel fand sofort ihre glänzende experimentelle Bestätigung.

Das Jahr 1901 bedeutete für Kurlbaum insofern einen gewissen Wendepunkt, als er aus dem Lummerschen Laboratorium ausschied, um ein eigenes zu übernehmen. Es war bei ihm schließlich der Wunsch auch nach äußerer Selbständigkeit so stark geworden, daß er sich gern bereit erklärte, eine Mitgliedsstelle in der damaligen zweiten Abteilung der Reichsanstalt zu übernehmen, in der die Prüfung von Apparaten vor der wissenschaftlichen Forschung den Vorrang besaß.

Nach einer gewissen Vorbildungszeit bei der Firma Siemens & Halske, wo er die Herstellung und Justierung der dort gefertigten elektrischen Meßinstrumente kennenlernte, und wo er sich über die Untersuchungsmethoden und die Abnahmeprüfung der verschiedenen Typen von Dynamomaschinen und Motoren unterrichten konnte, übernahm Kurlbaum das neu begründete Starkstromlaboratorium der Reichsanstalt. Der damals mit einem Amt dieser Art verbundene Professortitel war Kurlbaum ausnahmsweise schon zwei Jahre früher verliehen worden, eine Auszeichnung, die Kohlrausch beantragt hatte, um dem erfolgreichen Forscher die gebührende Anerkennung zum Ausdruck zu bringen.

Dem neuen Tätigkeitsgebiet hat Kurlbaum eine Veröffentlichung gewidmet, die er gemeinsam mit W. Jaeger herausbrachte. Sie bezieht sich auf die Beschreibung eines rotierenden Unterbrechers für Kapazitäts- und andere Messungen, einen Apparat, der in der Reichsanstalt und in andern Laboratorien vielfach Verwendung gefunden hat.

Im übrigen wandte sich Kurlbaum, soweit es sein neues Amt gestattete, wieder den Strahlungsmessungen zu. Eine sehr bekannt gewordene Strahlungsarbeit nahm er gewissermaßen von der alten zur neuen Tätigkeit mit herüber. Das ist jene Untersuchung, die er gemeinsam mit Holborn durchführte, und die den schlichten Titel: „Über ein optisches Pyrometer" trägt. Es handelte sich hier um die Konstruktion des Glühfadenpyrometers, das in genial einfacher Weise mit großer Genauigkeit beliebig hohe Temperaturen zu messen gestattet. Es ist allen Physikern aus Wissenschaft und Technik, die sich mit der Messung von Glühtemperaturen zu beschäftigen haben, so vertraut, daß sich eine nähere Beschreibung des Instrumentes hier erübrigt, um so mehr, als dieses Thema noch in einem Vortrag des heutigen Abends behandelt werden wird. Nicht unerwähnt lassen möchte ich aber, daß in der genannten Veröffentlichung zum erstenmal der in glücklichster Weise gebildete und soviel gebrauchte Fachausdruck „schwarze Temperatur" eingeführt wurde.

An die Entwickelung und Erprobung des optischen Pyrometers, das die Autoren ohne jeden Patentschutz zur allgemeinen Benutzung freigaben, schlossen sich zunächst zwei wichtige Untersuchungen über die Temperatur und das Reflexionsvermögen der leuchtenden Flammen an, durch die eine große Zahl von Untersuchungen ähnlicher Art angeregt wurde. Die neue und interessante Methode der Temperaturmessung beruht darauf, daß man durch die Flamme die Strahlung eines hocherhitzten Körpers schickt und dessen Helligkeit so einstellt, daß sie in einem bestimmten Wellenlängenbereich unverändert erscheint, gleichgültig ob die Flamme in den Strahlengang gebracht wird oder nicht. In diesem Falle emittiert die Flamme, von kleinen Korrektionen abgesehen, ebensoviel wie sie absorbiert, und nach dem Kirchhoffschen Gesetz ist die wahre Temperatur der Flamme gleich der leicht meßbaren schwarzen Temperatur des Strahlers zu setzen.

Hierauf folgten zwei interessante Arbeiten, die Kurlbaum zusammen mit Günther-Schulze ausführte. Die erste bezog sich auf die Strahlung der Nernstmaße und führte zu dem Ergebnis, daß die untersuchten Stifte aus

dieser Substanz bei mäßiger Glut im Grün eine Stelle deutlich bevorzugter Emission besitzen, die bei höherer Heizung mehr und mehr verschwindet. Bemerkenswert ist auch der in dieser Arbeit zum erstenmal deutlich hervortretende und auch heute noch nicht restlos erfüllte Wunsch, den umständlich zu handhabenden großen schwarzen Körper mit elektrisch heizbarer Platinfolie für die Zwecke der optischen Pyrometrie durch eine Lampe mit reproduzierbarer Flächenhelligkeit zu ersetzen und dadurch ein bequemes Helligkeitsnormal zweiter Ordnung zu schaffen.

Die zweite Arbeit mit Günther Schultze, die die Temperaturmessung an nicht leuchtenden Flammen zum Gegenstand hatte, bildet eine sehr wichtige Ergänzung zu der eben erwähnten Untersuchung über die leuchtenden Flammen. Die wiederum originelle Methode besteht darin, daß die Flamme durch ein Metallsalz gefärbt wird, und die Umkehr der Spektrallinien durch einen hinter der Flamme stehenden sogenannten kontinuierlichen Strahler von genau regelbarer Helligkeit bewirkt wird. Eine einfache Überlegung zeigt, daß auch in diesem Falle die schwarze Temperatur des auf die Linienumkehr eingestellten kontinuierlichen Strahlers gleich der wahren Temperatur der Flamme ist.

Im Herbst des Jahres 1904 schied Kurlbaum unter lebhaftem Bedauern seiner Kollegen aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, um dem Ruf an die Charlottenburger Hochschule zu folgen. Auch ihm selbst mag der Abschied von der Stätte langjähriger Tätigkeit nicht leicht geworden sein, und oft hat ihn sein Weg von der Hochschule in die gelben Backsteinbauten der Marchstraße zurückgeführt. Dieses Institut, mit dessen Begründer Werner v. Siemens Kurlbaum durch seine Gattin nahe verwandt war, blieb seine eigentliche wissenschaftliche Heimat, und die Reichsanstalt betrachtete ihn stets als einen ihrer Besten.

Nachdem er als Nachfolger von Adolf Paalzow, der damals im Alter von 81 Jahren in den Ruhestand trat, an die Seite von Heinrich Rubens gerückt war, nahm in Kurlbaums amtlicher Tätigkeit der Lehrberuf die erste Stelle ein, die bisher der Forschertätigkeit vorbehalten war; und als Rubens im Jahre 1908 die Technische Hochschule verlassen hatte, um an die Berliner Universität überzusiedeln, hatte Kurlbaum die Hauptlast des großen physikalischen Ordinariats zu tragen. Sie wuchs ständig mehr an und erreichte nach dem Kriege einen geradezu erdrückenden Umfang.

Zu eigenen physikalischen Arbeiten kam Kurlbaum an der Technischen Hochschule leider nicht; von späteren Veröffentlichungen habe ich nur noch seinen Bericht vom Jahre 1911 über seine Messung der Sonnentemperatur zu erwähnen, die er in der klaren Luft Oberägyptens, und zwar auf dem alten Fort Takuk bei Assuan durchgeführt hat. Wenn auch während dieser an Eindrücken so reichen Expedition, die er gemeinsam mit Adolf Miethe unternahm, nicht alle Pläne verwirklicht werden konnten, so war doch die Methode, welche Kurlbaum anwandte, um die ungeheuere Helligkeit der Sonne bis zu einer mit gewöhnlichen Mitteln meßbaren Größe herabzudrücken, wieder durchaus neuartig zu nennen. Er ließ die Sonnenstrahlen unter einem Winkel von 45^0 auf eine diffus reflektierende weiße Fläche von Magnesiumoxyd fallen, wodurch die Lichtschwächung dem Quadrat des Verhältnisses vom Sonnenradius zum Radius der Erdbahn proportional wurde.

Eine umfangreiche wissenschaftliche Tätigkeit, von der wenig nach außen bekannt geworden ist, hat Kurlbaum während des Krieges ausgeübt. Als alter Reserveoffizier beim 1. Garderegiment stellte er sich im Jahre 1914, trotzdem er das dienstpflichtige Alter bereits um mehr als ein Jahrzehnt überschritten hatte, den Militärbehörden zur Verfügung und wurde der Artillerie-Prüfungskommission zugeteilt, bei der er bis zum Ende des Krieges als Referent tätig war. In dieser Stellung hat er dem Vaterlande manch wertvollen Dienst erwiesen. Besonders erwähnen möchte ich seine Mitarbeit bei der photogrammetrischen Aufnahme der Geschoßbahnen gewisser Geschütze, die nahe der Front in den Stranddünen von Ostende aufgestellt waren. An Untersuchungen dieser Art, die später auf den

Schießplätzen im Innern des Landes fortgesetzt wurden, schloß sich die umfangreiche Prüfung eines akustischen Verfahrens zur Erkundung des Standortes feindlicher Geschütze. Im letzten Kriegsjahr war er hauptsächlich mit der Erprobung von Scheinwerfern hoher Lichtstärke beschäftigt, einer Aufgabe, die ja zu seinem speziellen Arbeitsgebiet gehörte, und der er sich darum mit besonderer Freude widmete. Er besaß eine unverkennbare Liebe zum Soldatentum, das mit seiner großen Nähe zur Natur und der Pflege des kameradschaftlichen Geistes durchaus Kurlbaums Wesen entsprach. Davon legen auch die vielen freundschaftlichen Beziehungen, welche er als Soldat überall gewann, ein lebendiges Zeugnis ab.

Bereits vor dem Kriege nahm er gern Gelegenheit, mit militärischen Stellen in Berührung zu kommen. So war er viele Jahre stellvertretender Vorsitzender der Versuchsanstalt für Handfeuerwaffen. Vom Sommer 1903 bis zum Herbst 1904 übernahm er den Unterricht für Physik an der Kriegsakademie, und im Jahre 1895 hatte er sehr vorzeitig im Vergleich zu dem gewöhnlichen Brauch eine Ordensauszeichnung erhalten, weil er namhaft an der Fertigstellung des von hoher militärärztlicher Seite herausgegebenen Werkes „Über die Wirkung und die kriegschirurgische Bedeutung der neuen Handfeuerwaffen" mitgearbeitet hatte. Hieran schlossen sich seine Veröffentlichungen „über die Bedeutung der Röntgenschen Strahlen für medizinisch-chirurgische Zwecke" sowie „Über die Sprengwirkung schnellfliegender Geschosse" und „Die Durchschlagswirkung von Geschossen".

Wenn wir zurückblicken auf das, was der Physiker Kurlbaum unserer Wissenschaft geschenkt hat, so sehen wir voll Bewunderung auf eine ganze Reihe schöner Ideen, die in einer Anzahl wichtiger Apparate und Meßmethoden Gestalt gewonnen haben. Ich nenne nur die absolute Messung der Strahlungsenergie, den elektrisch heizbaren schwarzen Körper für hohe Temperaturen, das optische Pyrometer, die optische Methode zur Temperaturmessung von Flammen. Jede einzelne dieser Ideen steht gewissermaßen am Anfang eines neu entdeckten Weges, den weiter zubeschreiten er andern überließ. In diesem Sinne war er eine Führernatur, die von ihrem Überfluß andern gibt, und von der man nicht fordern darf, daß sie sich in Kleinarbeit erschöpft. Kurlbaum war ein Experimentalphysiker von Rang, wie es heute nur wenige gibt. Der Theorie und Spekulation war er abhold, wenigstens interessierte sie ihn wohl kaum mehr, als ihn alle nicht zu seinem Spezialfach gehörenden Teilgebiete der Naturwissenschaft interessierten.

Er sah ja die ganze Welt ständig durch die naturwissenschaftliche Brille. Ihn beschäftigte die Frage, warum ein Riß im Anstrich der Zimmerdecke auf der einen Seite dunkler erscheint als auf der anderen und warum die Teeblätter in der Tasse beim Umrühren nicht an den Rand gelangen, sondern in der Mitte bleiben, ebensosehr wie der Magnuseffekt und die Bewegung einer ins Wasser rollenden Kugel. Seine Gedanken über die Natur kamen in systematischer Weise in den zahlreichen Vorträgen zum Ausdruck, die er alljährlich in der Mittwochsgesellschaft hielt, einem Kreis führender Männer aus den verschiedensten Gebieten der Wissenschaft und der Wirtschaft. Bezeichnend ist das letzte Thema, über das er in der Februarsitzung dieses Jahres sprach: „Es kann die Spur von meinen Erdentagen nicht in Äonen untergehen." Er schilderte unter Anführung zahlreicher Beispiele, wie alle Ereignisse in der Natur Spuren hinterlassen, und daß es nur darauf ankomme, sie richtig zu lesen, um in die Jahrhunderte und Jahrtausende, ja bis in die Zeiten der Entstehung unserer Erde zurückblicken zu können.

Auch die Spur von Kurlbaums Erdentagen soll nicht sobald verwischt werden. Dafür werden nicht nur seine Freunde sorgen, so lange sie noch auf der Erde wandeln, dahin werden nicht nur seine Kinder und Enkelkinder für diese und die kommenden Generationen wirken; die deutsche Physik wird auch noch in den spätesten Zeiten seinen Namen nennen, wenn sie sich der historischen Entwickelung in der Epoche ihres gewaltigen Aufschwunges um die Wende des 19. zum 20. Jahrhundert erinnert.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Beeinflussung der Dielektrizitätskonstanten durch elektrostatische Felder.

(Leipziger Dissertation.)

Von F. Kautzsch.

Die aus der Debyeschen kinetischen Theorie der Dielektrika folgende Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten flüssiger Medien von einem äußeren angelegten Felde veranlaßte bereits Ratnowsky (1) und später Herweg (2), nebst seinem Mitarbeiter Poetzsch zu diesbezüglichen experimentellen Untersuchungen. Die vorliegende Arbeit zielt auf analoge Feststellungen hin, insbesondere wurde die von Herweg für diese Zwecke glücklich gewählte Substanz, der Äthyläther nochmals untersucht. Von anderen als Dipolflüssigkeiten bereits bekannten Stoffen, nämlich Chloroform, Chlorbenzol, Bromoform, Brombenzol und Methylenchlorid erwiesen sich nur die beiden erstgenannten als geeignet für Versuche, bei denen es zur Aufrechterhaltung starker elektrischer Felder statischer Art auf weitgehend herabgesetztes Leitvermögen ankommt, sofern man von einer Untersuchung an Gemischen mit dipolfreier nichtleitender Komponente absehen will. Außer den genannten Dipolflüssigkeiten wurden noch Schwefelkohlenstoff und Hexan als dipollose Substanzen der Einwirkung äußerer Felder unterworfen.

Vorversuche.

Vor Aufnahme der endgültigen Untersuchungen wurden verschiedene Meßmethoden zur Bestimmung geringer Kapazitätsänderungen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für die vorliegenden Verhältnisse überprüft. Die von Falckenberg (3) beschriebene Differentialresonanzmethode erwies sich dabei als äußerst empfindlich, konnte jedoch bei einer Wellenlänge von etwa 300 m nicht auf der notwendigen Konstanz gehalten werden. Die hierbei vorgesehenen Schwingungskreise wurden erregt mit einer R. S. V.-Röhre von Telefunken, im Differentialkreis wurde eine Verstärkerröhre verwendet. Im Galvanometerkreis war eine Kompensationsschaltung eingefügt, wobei als Indikator ein Siemens-Drehspulgalvanometer mit einer Empfindlichkeit von etwa 10^{-8} Ampere/Skalenteil diente. Geringe Kapazitätsänderungen, wie sie z. B. durch Bewegung der Hand des Beobachters in 4 m Entfernung von den Schwingungskreisen erzeugt wurden, konnten durch erhebliche Ausschläge des Instruments registriert werden. Es änderte sich jedoch daneben die Einstellung des Instruments fortgesetzt sprunghaft um mehrere Skalenteile, was auch durch Auswechseln der Röhren nicht behoben werden konnte.

Eine weitere Untersuchung bezog sich auf die von Dowling (4) angegebene Schaltung. Hierbei wird eine Änderung der Kapazität im Schwingungskreise in Beziehung gesetzt zu der dadurch hervorgerufenen Änderung des Anodenstromes der Röhre. Wie bei der vorher erwähnten Anordnung wurde mit einer Kompensationsschaltung gearbeitet. Die Empfindlichkeit ließ sich je nach der Frequenzstelle variieren. In den für die geplanten Messungen in Betracht kommenden Bereichen traten indes wiederum unkontrollierbare spontane Änderungen am Indikator auf, die zum Teil als Detektoreffekt der zur Kompensation benutzten Schiebewiderstände erkannt wurden. Nach Ersetzen der letzteren durch Stöpselrheostaten blieben die Störungen merklich kleiner, konnten aber nicht auf das erforderliche Minimum herabgesetzt werden.

Da in den beiden erwähnten Anordnungen die Kompensationskreise bei nicht schwingendem Generator einwandfrei arbeiteten, muß der Grund für das Versagen dieser Methoden für die vorgesehenen Zwecke darin zu suchen sein, daß bei der mit der Frequenz gesteigerten Empfindlichkeit spontane Vorgänge innerhalb der Generatoren in ihren Auswirkungen von der gleichen Größenordnung werden wie die zu messenden Kapazitätsänderungen im Schwingungskreise.

Ferner wurde noch die von Geffcken und Richter angeregte und von Ch. Francke (5) beschriebene und benutzte Methode des an einen Generatorkreis induktiv angekoppelten Schwingungskreises überprüft. Die Empfindlichkeit ist hierbei am größten in der Nähe der kritischen Kopplung, sie kann aber nicht ausgenutzt werden, weil an dieser Stelle die Frequenz sehr labil ist. Für eine Wellenlänge von etwa 250 m erwies sich diese Anordnung erst dann genügend konstant, als die Empfindlichkeit im wesentlichen der einer einfachen Überlagerungsschaltung entsprach, wie sich durch direkten Vergleich zeigen ließ. Daher konnte auf den Zwischenkreis verzichtet werden und auf die einfachere Herwegsche Schaltung (2) zurückgegangen werden. Es versteht sich von selbst, daß bei diesen Untersuchungen Sorgfalt auf gute Kontakte und möglichst kurze, festverlegte Leitungsführung, sowie einwandfreie Betriebsbedingungen für die Generatoren verwendet wurde, und daß die Beobachtungen erst 1 bis 2 Stunden nach Ingangsetzen der Apparatur erfolgten.

Die schließlich benutzte Meßmethode entsprach im wesentlichen der Herwegschen. Das beigefügte Schaltschema zeigt die benutzte Anordnung. Der Meßkreis enthält den Versuchskondensator nebst einer Leidener Flaschenbatterie in Reihe geschaltet. Ein weiterer analog gebauter Schwingungskreis, in einiger Entfernung vom ersten aufgestellt, dient als Überlagerer. Beide Aggregate waren in geerdete Drahtkäfige eingeschlossen und wurden betrieben mit REO 64 Röhren von Telefunken bei einer Anodenspannung von etwa 70 Volt. Induktiv mit ihnen war ein aperiodischer Detektorkreis lose gekoppelt, welcher die gleichgerichtete Schwebungsfrequenz einem 3-Röhrenverstärker zuführte. Mit letzterem wurde ein Telephon betrieben. Außerdem enthielt die Anordnung noch einen dritten Schwingungskreis (in der Figur nicht angegeben), der als Tongenerator ausgebildet war und die von Herweg ursprünglich benutzte Stimmgabel er-

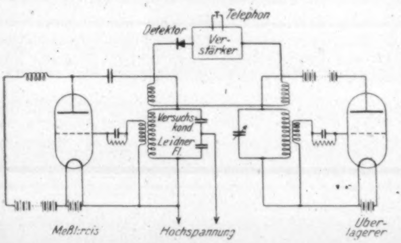


Fig. 1.

setzte. Er wurde betrieben mit einer Telefunken-R. S. V.-Röhre; der durch ihn erzeugte Normalton wurde mit Hilfe eines eingeschalteten Telephons vernehmbar gemacht. Zum bequemen Vergleich der beiden Töne, von denen also der eine durch das Zusammenwirken von Schwingungsmeßkreis und Überlagererkreis, und der zweite direkt infolge der akustischen Frequenz des Tongenerators zustande kam, waren die beiden genannten Telephone mit etwa 10 cm Abstand in einem kurzen, mit Filz akustisch abgedämpften Papprohr gegeneinander gestellt. Mittels eines Gummischlauches, der durch ein Loch in die Mitte der Pappröhre einmündete, konnten die Töne bzw. Schwebungen dem Ohr des Beobachters mit der erforderlichen Lautstärke zugeführt werden. Nach dem Vorgange von Grüneisen und Merckel (6) war in die Gitterkreise der 3 benutzten Schwingungsgeneratoren je ein Widerstand von etwa 30 000 Ohm nebst Überbrückungskondensator von etwa 10 000 cm gelegt. Zum selben Zweck der Konstanthaltung der Frequenz wurde möglichst mit unterheizten Röhren gearbeitet. Die Empfindlichkeit der benutzten Anordnung betrug je nach der Frequenz $1 - 2 \cdot 10^{-6}$, wobei diese Zahl das Verhältnis der noch meßbaren Kapazitätsänderung zur Gesamtkapazität angibt.

Der Versuchskondensator.

Vor Inangriffnahme der Messungen erwies sich eine Untersuchung verschiedener Formen des Meßkondensators als notwendig. Als erstes Objekt wurde ein Zweiplattenkondensator in zylindrischem Glasgefäß mit eingeschmolzenen Zuführungen, der bereits zu Untersuchungen über den Kerreffekt benutzt worden war, geprüft. Mit Benzol als Dielektrikum ergab sich bei Anlegen eines statischen elektrischen Feldes von 10 000 Volt auf 2 mm Abstand eine Vergrößerung der Kapazität, was auf eine Annäherung der Platten infolge der Kraftwirkung der Ladungen zurückzuführen war. Dasselbe trat ein bei einer Kondensatorkonstruktion, die aus drei konzentrischen metallischen Hohlzylindern bestand, wobei der mittlere Zylinder etwa 8 cm Durchmesser hatte. Die Dicke der Wandungen betrug etwa 1 mm; jeder Zylinder hatte 2 diametral angebrachte, in ein Glasgefäß eingeschmolzene Zuführungen. Die 2 mm-Abstände wurden durch eingeschobene Glasstäbe fixiert. Daß trotz der scheinbaren Stabilität dieses Kondensators bei Anlegen des Feldes eine Vergrößerung der Kapazität eintrat, führte zu dem Schlusse, daß bei den wirkenden elektrostatischen Kräften sowohl die Fixierstäbe als auch die Einschmelzstellen Deformationen erlitten, was zu Änderungen der Abstände führte. Daraufhin wurde als Flüssigkeitsbehälter ein flachzylindrisches metallisches Hohlgefäß von 22 cm Durchmesser und 6 cm Höhe benutzt. In diesem ruhte auf 3 kleinen zylindrischen und nach oben abgerundeten Metallstücken eine Stahlplatte von 18 cm Durchmesser und 0,7 cm Dicke. Diese stellte nebst dem Gefäß die eine Kondensatorbelegung dar. Als zweite Belegung diente eine weitere Stahlplatte von gleichen Dimensionen, die auf 3 plangeschliffenen Quarzzylinderchen von 6 mm Durchmesser und 2 mm Höhe (von Zeiß, Jena angefertigt) auf der zuerst angeführten Platte lagerte. Mit Benzol als Dielektrikum ergab sich bei Anlegen eines Feldes von neuem eine Kapazitätsvergrößerung, was auf eine Deformation der Quarzzwischenstücke zurückgeführt werden mußte, denn dieselbe Wirkung stellte sich bei Belastung mit Gewichten ein, die innerhalb eines Faradayschen Gefäßes auf die Platten gesenkt wurden. Die Rechnung zeigte, daß die elektrostatische Kraftwirkung des benutzten Feldes (10 000 Volt auf 2 mm Abstand) gleichkam einer Belastung mit 0,7 kg für Benzol und mit 1,3 kg für Äthyläther als Dielektrikum. Weitere Berechnungen unter Zuhilfenahme des Kompres-

sionsmoduls von Quarz zeigten, daß die Platten infolge von Unebenheiten nicht voll auf den Flächen der Fixierquarze auflagen und damit einen Grund zu gesteigertem Druck auf die Unterlage gaben. Durch Einlegen dünner Scheiben aus Zinnfolie wurden die Auflageflächen infolge der Nachgiebigkeit dieses Materials vergrößert, jedoch konnte dadurch die Deformation nicht vollständig beseitigt werden.

Um endlich eine befriedigende Lösung der Stabilitätsfrage zu erlangen, wurde folgender Entwurf für das Kondensatorgefäß ausgeführt (Fig. 2). Aus einem Stahlvollzylinder von 26 cm Durchmesser und 4,34 cm Höhe wurde konzentrisch zur Mantelfläche eine zylindrische Einsenkung von 20 cm Durchmesser und 1,14 cm Tiefe ausgefräst. In diesen Hohlraum wurde auf

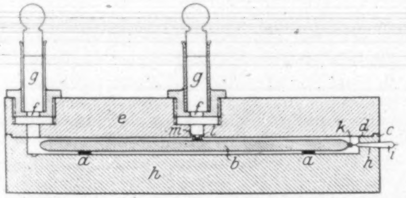


Fig. 2.
Versuchskondensator.

die schon erwähnten 3 Quarzzylinderchen *a*, eine runde Stahlplatte *b* von 18 cm Durchmesser und 0,74 cm Dicke gelagert. Darüber ruhte auf der verbliebenen, mit einem Führungsring *c* versehenen Umrandung *d* des Gefäßes der 3 cm starke Deckel *e* in 2 mm Abstand von der Zwischenplatte *b*. Dieses Verschlußstück wurde mit 5 Schrauben auf dem Gefäßrand *d* befestigt. Es enthielt zwei senkrechte Durchbohrungen *f* mit Gewinden, durch welche in Metall eingekittete Glasröhren *g* als Zuführungsstellen für die Flüssigkeit eingeschraubt werden konnten. Als Bindemittel zwischen Metall und Glas wurde Wasserglas verwendet. Die aufgesetzten Glasröhren konnten mittels Glasstopfen abgeschlossen werden. Bei dieser Ausführung bildete das gesamte Gefäß die eine Kondensatorbelegung, während die eingelagerte Platte *b* die zweite darstellte, welche auf Grund vollkommener Symmetrie der Anordnung einseitigen elektrostatischen Kraftwirkungen nicht mehr unterlag. Der Auflagerand *d* zwischen Gefäß und Deckel wurde durch Ringe aus Bleifolie abgedichtet, ihre Dicke wurde dabei so bemessen, daß die Abstände der Mittelplatte *b* von Boden und Deckel des Gefäßes genau gleich wurden. Ursprünglich war geplant, der mittleren Platte *b* die Spannung mittels eines Metallstabes, der durch die mittlere Deckeldurchbohrung *f* geführt und auf die Platte *b* aufgeschraubt werden konnte, zuzuleiten, während der andere Pol an die Außenseite des Gefäßes gelegt wurde. Bei einwirkendem Feld verursachten jedoch Änderungen der Oberflächenspannung ein erhebliches Aufsteigen der Flüssigkeit in dem mit der Spannungsleitung versehenen Zuflußrohr und ein entsprechendes Absinken des Niveaus im anderen Rohr, was eine merkliche Kapazitätsänderung zur Folge hatte. Daher wurde die Zuführung zur inneren Platte *b* durch eine seitliche konische Einbohrung *h* in die Wandung des Gefäßes gelegt. Sie erfolgte mittels eines Drahtes mit Platinansätzen, der in einen mit dem Konus übereinstimmenden Glasschliff *i* beiderseits eingeschmolzen war und durch eine seitliche Klemmschraube *k* an der Platte *b* befestigt werden konnte. Um ein Verschieben der Mittelplatte *b* beim Transport zu verhindern, wurde sie in der Mitte mit einem Schraubenkopf *l* versehen, über den ein durchlochter Porzellanstern *m* geschoben werden konnte, der seinerseits in die mittlere Durchbohrung *f* des Deckels ragte und dort festgehalten wurde. Die sich gegenüberliegenden Flächen der Kondensatorbelegungen wurden plangeschliffen, poliert und der Innenteil des Gefäßes vergoldet. Beim Einfüllen der Flüssigkeit wurde die Bildung von Luftblasen durch Ankippen des Gefäßes bei vorsichtiger Handhabung tunlichst vermieden. Durch wiederholtes schnelles Einpressen der Glasstopfen wurden etwa entstandene Bläschen nach den höher gestellten Teilen des Kondensators gedrückt, wo sie durch das seitliche Rohr *g* entweichen konnten. Bei dieser Konstruktion ließen sich unter der Einwirkung des Feldes keine Kapazitätsänderungen mehr nachweisen, die auf Deformationen beruhten. Außerdem wurde die Stabilität dieses Gefäßes noch durch Belastung mit 5 kg geprüft, es ergab sich keine Änderung, obgleich bei der benutzten Anordnung Abstandsänderungen der Platte im Betrag von $1,7 \cdot 10^{-7}$ cm nachweisbar gewesen wären.

Spannungsanordnung.

Die Hochspannung zu den Versuchen wurde von zwei hintereinandergeschalteten Gleichstrommaschinen geliefert, die zusammen bis etwa 12 000 Volt gaben. Zur Blockierung der Hochspannung wurde im Schwingungskreis *C* in Reihe mit dem Versuchskondensator *a* eine große Leidener Flaschenbatterie *b* von etwa 30 000 cm Kapazität geschaltet (Fig. 3). Die Messung der Spannung erfolgte mittels eines Millivoltmeters *c*, das nebst einem Vorschaltwiderstand *d* von etwa 30 Megohm an die Spannungszuführungen gelegt war. Ferner enthielten die

Spannungsleitungen je einen Widerstand *e* von etwa 1 Megohm als Sicherung bei etwaigen Durchschlägen des Dielektrikums; außerdem erfuhren dadurch Beeinträchtigungen der Tonreinheit des Überlagerungstones, die gelegentlich durch Funkenbildung am Maschinenkollektor bewirkt wurden, eine weitaus größere Dämpfung als dies mit Drosseln erreichbar war. Variiert wurde die Spannung durch Änderung der Erregung der

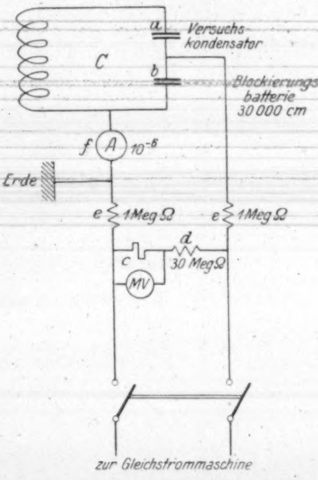


Fig. 3.
Zuführung der Hochspannung.

Maschine, was vom Beobachtungsplatze aus mit Hilfe von Schiebewiderständen vorgenommen werden konnte. Die Ablesung des Spannungsmessers erfolgte ebenfalls von dort aus. Ferner war in der Schaltung noch ein Amperemeter *f* vorgesehen (Empfindlichkeit 10^{-6} Ampere pro Skalenteil), welches jederzeit eine Kontrolle des von der Hochspannung bewirkten Stromes durch die Meßanordnung gestattete. An- und Abschalten der Hochspannungszuleitung zeigte keinen Einfluß auf die Frequenz des Meßkreises.

Störungsquellen.

Anläßlich der Prüfung der Stabilität des beschriebenen Meßkondensators mit Benzol als Dielektrikum ergab sich bei Anlegen eines starken Feldes in vielen Fällen eine geringe Vergrößerung der Kapazität, die eben noch konstatiert werden konnte, und die sich regelmäßig mit einer gewissen Verzögerung einstellte, um nach einigen Sekunden wieder zu verschwinden, während beim Abnehmen der Spannung keine Änderung festgestellt werden konnte. Die Vermutung, daß als Ursache für diesen unsymmetrischen verzögerten Effekt eine Störung dielektrischer Art, herrührend von der zur Blockierung der Hochspannung im Schwingungskreis verwendeten Leidener Flaschenbatterie, gelten könne, wurde bestätigt durch eine Untersuchung verschiedener solcher Glaskondensatoren. Zur näheren Beurteilung dieser Störung wurde der eigentliche Versuchskondensator, der zur Aufnahme des flüssigen Dielektrikums diente, aus dem Meßkreis entfernt, und an seine Stelle verschiedene Leidener Flaschen mit Kapazitäten von einigen 100 bis einigen 1000 cm eingeschaltet und einzeln nacheinander bezüglich ihres Verhaltens bei Belastung mit Hochspannung geprüft. Die im Meßkreis vorhandene Blockierungsbatterie behielt bei diesen Versuchen ihren Platz bei. Es zeigte sich nun, daß eine jede der 5 eingeschalteten Leidener Flaschen, die gerade zur Verfügung standen, auf Spannung reagierte durch Änderung der Kapazität, und zwar traten bei den verschiedenen Versuchsobjekten verschiedene Erscheinungen auf. Während bei der einen Kategorie die Kapazitätsänderung mit dem Felde anwuchs und bei konstantem Feld wesentlich erhalten blieb, kam bei einer anderen Art ein Wiederabfallen der Kapazitätsänderung nach Einstellen des Feldes zustande. Meist verhielten sich die Veränderungen unsymmetrisch, d. h. dem Anlegen der Spannung entsprach eine andere Kapazitätsänderung als dem Verschwinden der Spannung. Es kamen dabei Änderungen des Schwebungstones um mehrere Oktaven vor. Ferner wurden sowohl Vergrößerungen als auch Verkleinerungen der Kapazität unter Einwirkung des Feldes beobachtet. Die Erscheinungen gestalteten sich noch unübersichtlicher, als festgestellt werden konnte, daß dasselbe Objekt bei scheinbar gleichen Bedingungen an verschiedenen Tagen verschieden reagierte, d. h. es konnte an derselben Leidener Flasche bei Anlegen des Feldes einmal eine Kapazitätsvergrößerung eintreten, während das andere Mal aus demselben Anlaß eine Verkleinerung eintrat. Daher konnten die Verhältnisse nicht zahlenmäßig erfaßt werden, und es scheint, daß mehrere Komponenten zu dem beobachteten Effekt beitragen; z. B. war die Art der Änderung abhängig vom Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Dies führte zu der Vermutung, daß die aufgeklebten Stanniolbelegungen je nach dem augenblicklichen Wassergehalt des Klebmittels deformiert würden; es können außerdem aber auch dielektrische Nachwirkungen eine Rolle spielen, ebenso wie Kriechströme, die ihren Weg über das feste Dielektrikum nehmen, eine Kapazitätsänderung vortäuschen können.

Nach diesen Feststellungen mit beliebigen Leidener Flaschen wurde eine Prüfung einzelner der Blockierungsbatterie angehörender Aggregate vorgenommen. Es wurde dazu immer eine Einzelkapazität aus der Batterie entfernt und wieder wie die vorher untersuchten Leidener Flaschen an die Stelle des Versuchskondensators in den Meßkreis eingeschaltet, während der Rest der Batterie weiterhin die Funktion der Absperrung der Hochspannung im Meßkreise beibehielt. Die Frequenz des Schwingungskreises war jeweils in erster Linie durch die in Untersuchung stehende Einzelkapazität bestimmt. Diese Nachprüfungen an Teilen der bei den endgültigen Messungen verwendeten Leidener Flaschenbatterie ergaben nun, daß, wenn eine Spannung angelegt wurde, eine merkliche Kapazitätszunahme erfolgte, und zwar trat sie, nachdem sich das Feld ausgebildet hatte, mit Verzögerung ein und klang bei konstantem Feld nach einiger Zeit wieder ab. Der Verlauf eines solchen Versuches war also folgendermaßen: die Apparatur wurde anfangs auf Gleichheit von Überlagerungston und Normalton, also auf Schwebungslosigkeit, eingestellt. Hierauf wurde Spannung auf die Kondensatoren im Meßkreis gegeben bis das Voltmeter der Hochspannungsanordnung einen bestimmten Betrag anzeigte. Daraufhin traten eine abzählbare Anzahl Schwebungen ein (5—6 pro Sek.), die allmählich langsamer wurden und nach 1—2 Minuten ganz ausblieben. Von da an blieb die Einstellung bei gleichbleibendem Feld konstant. Wurde das Feld wieder beseitigt, so wurde ebenfalls eine merkliche Kapazitätsvergrößerung konstatiert, diese wurde aber bereits in Bruchteilen von 1 Sekunde unmerklich. Erst 10—12 Sek. nach Abschalten des statischen Feldes traten von neuem Schwebungen auf (1—2 pro Sek.), die diesmal eine Verkleinerung der Kapazität anzeigten. Nach weiteren 10 Sek. blieben diese Schwebungen wieder aus und die Anordnung zeigte von da an wieder konstante Einstellung. Wiederholungen der Versuche zeigten im wesentlichen dasselbe, dabei wurde auf gleichbleibenden Feuchtigkeitsgehalt des Laboratoriums geachtet. Es zeigten somit diese Nachprüfungen, die zwecks sicherer Kontrolle und einwandfreier Beurteilung mehrere Wochen in Anspruch nahmen, daß für die geplanten Messungen nicht allein die Änderung des Dielektrikums des Flüssigkeitskondensators als kapazitätsändernder Faktor in Betracht kam, sondern, daß gegebenenfalls auch die Blockierungsbatterie die Anzahl der entstehenden Schwebungen beeinflussen konnte. Es kam nun darauf an, abzuschätzen, bis zu welchem Grade dieser störende Einfluß in Rechnung zu ziehen sei. Wie bereits erwähnt, zeigten Untersuchungen mit dem Benzol enthaltenden Flüssigkeitskondensator keine merkliche Kapazitätsänderung für den Fall, daß die Beobachtung vorgenommen wurde, während, bzw. nach dem Abschalten des statischen Feldes. Sowohl während als auch nach dem Verschwinden der Hochspannung blieb die Einstellung vollkommen konstant. Die nachgewiesenermaßen vorhandene Änderung der 30 000 cm Kapazität der Blockierungsbatterie blieb somit in diesem Falle unmerklich infolge des Umstandes, daß bei Hintereinanderschaltung der Kapazitäten die kleinere des Benzolkondensators (450 cm) in vorherrschender Weise die Gesamtkapazität und damit auch Änderungen der Gesamtkapazität bestimmt. Für den Fall, daß das statische Feld an die Anordnung angelegt wurde, traten, wie ebenfalls bereits angeführt, bisweilen Schwebungen auf (0,5—1 pro Sek.), welche auf die dielektrischen Eigenschaften der Blockierungsbatterie zurückgeführt werden müssen. Hiermit stimmt das Resultat aus der Nachprüfung der Aggregate jener Batterie überein, demzufolge dem Anlegen des Feldes eine größere Änderung entsprach als dem Abnehmen. Unter Zugrundelegung dieser Ergebnisse läßt sich berechnen, daß auch für den Fall, daß der Versuchskondensator etwa 1000 cm Kapazität repräsentiert, die infolge der unter Spannung stehenden Leidener Flaschen hervorgerufene Kapazitätsänderung unmerklich bleibt, sofern die Beobachtung nach dem Abschalten des jeweils bestimmten angelegten Feldes erfolgt. Für diesen Fall zeigt sich, daß das Verhältnis der durch die Batterie verursachten Änderung der Kapazität zur Gesamtkapazität die Größenordnung 10^{-7} aufweist, somit unter der Meßgenauigkeit bleibt. Im übrigen blieb auf Grund der Versuche eine Störungsgefahr überhaupt ausgeschaltet, falls die jeweilige Messung innerhalb 1—8 Sekunden nach Abschalten des betreffenden Feldes erfolgt war, was in jedem Falle leicht bewerkstelligt werden konnte.

Ausführung der Messungen.

Nach diesen Vorversuchen wurde an die im weiteren Verlauf zu schildernden Messungen herangegangen. Es wurde zunächst die in den Versuchskondensator eingefüllte Flüssigkeit eine Zeitlang unter der höchsten verfügbaren Spannung gelassen, nachdem diese durch allmähliche Steigerung in Intervallen erreicht war. Dadurch wurde das Leitvermögen der vorher durch Destillation gereinigten Substanzen durch eine Art Kataphorese weiterhin beträchtlich herabgesetzt, wobei noch vorhandene leitende Verunreinigungen an die als Elektroden wirkenden Kondensatorplatten transportiert wurden. (Die Fig. 4 zeigt den Abfall der Leitfähigkeit bei Benzol unter Einwirkung von 6000 Volt auf 2 mm Abstand,

wobei dem regulären Effekt zeitweise eine Störung infolge von stärker leitenden Bestandteilen der Flüssigkeit überlagert erscheint.) Außerdem stellte sich die im Verlaufe dieser Vorbehandlung in Betrieb gesetzte Meßanordnung auf konstante Verhältnisse ein. Das zu den Vorversuchen verwendete Benzol hatte einen Leitwert von $K = 4{,}8 \cdot 10^{-14}\ \mathrm{cm}^{-1}\ \mathrm{Ohm}^{-1}$ gemessen bei 55 000 Volt/cm.

Die Messungen verliefen nun folgendermaßen: Bei der höchsten erreichten Spannung wurde mittels eines im Überlagererkreise befindlichen Kompensationskondensators auf Schwebungslosigkeit eingestellt. Nun wurde die Spannung durch langsames Regulieren der Erregung

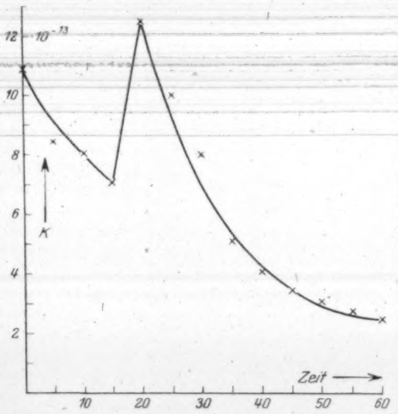


Fig. 4.
Abfallen der Leitfähigkeit von Benzol unter Einwirkung von 30 000 Volt/cm.

des Hochspannungsgenerators auf einen solchen Betrag herabgesetzt, daß die dabei auftretenden Schwebungen leicht an Hand der Stoppuhr abgezählt werden konnten. Nach erfolgter Abzählung wurde mit Hilfe des erwähnten Kompensationskondensators die Richtung der Kapazitätsänderung, die zu dem Auftreten der Schwebungen Anlaß gab, festgestellt. Daraufhin wurde die Spannung wieder auf den Ausgangsbetrag erhöht, und nach erfolgter Neueinstellung auf Schwebungslosigkeit das Verfahren so oft wiederholt, bis die Anzahl der Beobachtungen für die Bildung eines einwandfreien Mittelwertes ausreichend schien. Bei den Untersuchungen an Äthyläther z. B. war dieses erste Beobachtungsintervall gegegeben durch die Spannungen 11 000 und 9200 Volt. Mit ganz analogen Verfahren schlossen sich daran die weiteren Intervalle 9200—6550 Volt, 6550—4000 Volt und schließlich 4000—0 Volt an. Durch Addition der in jedem Intervall gemessenen Schwebungen pro Sekunde $\Delta n'$ ergaben sich dann, von 0—4000 Volt beginnend, die Werte Δn für die einzelnen Spannungsbeträge 4000, 6550, 9200 und 11 000 Volt.

Meßergebnisse.

Gemäß der Thomsonschen Formel besteht zwischen Kapazitätsänderung und Frequenzänderung eines ungedämpften Schwingungskreises bei konstanter Selbstinduktion die Beziehung: $\frac{\Delta C}{C} = -\frac{2\Delta n}{n}$. Im vorliegenden Fall bestand die Gesamtkapazität C des Schwingungskreises aus 2 in Reihe geschalteten Kapazitäten C_1 und C_2, wobei C_2 groß war gegen C_1. Bei den Messungen änderte sich merklich nur die Kapazität C_1, so daß aus: $C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$ gefolgert werden kann:

$$\frac{\Delta C}{\Delta C_1} = \frac{C_2^2}{(C_1 + C_2)^2} = \frac{C^2}{C_1^2},$$

so daß sich ergibt: $\frac{\Delta C_1}{C_1} = -\frac{2\Delta n}{n} \cdot \frac{C_1}{C}$. Hieraus folgt, sofern der Kondensator C_1 ein Dielektrikum der Konstanten ε enthält:

$$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} = -\frac{2\Delta n}{n} \cdot \frac{C_1}{C} \quad \text{und} \quad \Delta \varepsilon = -\frac{2\Delta n}{n} \cdot \frac{C_1}{C} \cdot \varepsilon$$

Äthyläther (von Kahlbaum, wasserfrei über Natrium destilliert, zur Analyse). Nach 3maliger Destillation und anschließender Reinigung durch Kataphorese ergab sich bei 58000 Volt/cm gemessen als Leitwert:

$$K = 4{,}6 \cdot 10^{-14}\ \mathrm{cm}^{-1}\ \mathrm{Ohm}^{-1}.$$

Hierzu ist noch zu bemerken, daß der wesentliche Anteil des Stromüberganges zwischen den Kondensatorplatten als Kriechstrom an den den Abstand fixierenden Quarzscheiben entlang anzusehen ist. Dies konnte aus Erscheinungen bei gelegentlichen Durchschlägen geschlossen werden, wobei sich Kohlenstoffbrücken auf den Rändern der Zwischenlagestückchen niederschlugen, sowie Aufrauhungen daselbst bildeten, neben einer Verrußung der metallischen Belegungen in der Umgebung. Es wird bei analogen Versuchen die Isolierfähigkeit der Medien gesteigert werden können durch Vermeidung von Zwischenstücken, was beispielsweise durch Verwendung einer massiven zylindrischen Anordnung erreicht werden kann.

Die Messungen an Äthyläther gaben folgende Resultate:

$$\Delta n_1 = 2{,}54\ \mathrm{sec}^{-1} \text{ bei } 4\,000 \text{ Volt}$$
$$\Delta n_2 = 6{,}54\ \mathrm{sec}^{-1} \text{ ,, } 6\,550 \text{ Volt}$$
$$\Delta n_3 = 11{,}57\ \mathrm{sec}^{-1} \text{ ,, } 9\,200 \text{ Volt}$$
$$\Delta n_4 = 15{,}06\ \mathrm{sec}^{-1} \text{ ,, } 11\,000 \text{ Volt.}$$

Die Werte entsprechen hierbei einer Verkleinerung der D.-K. unter der Einwirkung der angegebenen Spannungsbeträge.

Jeder Wert Δn ist als Mittelwert aus je 300 Einzelablesungen anzusehen.

Zur Berechnung von $[\Delta\varepsilon]$ wurde gemessen:
C_1 (Kapazität des Versuchskondensators) = 840,9 cm,
C (Gesamtkapazität des Schwingungskreises) = 809,3 cm,
λ (Wellenlänge) = 210 m, also $n = 1{,}4 \cdot 10^6\ \mathrm{sec}^{-1}$.
Wird ferner gesetzt $\varepsilon = 4{,}35$, so ergeben sich nach der obigen Formel die beziehungsweisen Werte:

$$[\Delta\varepsilon_1] = 16{,}40 \cdot 10^{-6}$$
$$[\Delta\varepsilon_2] = 42{,}23 \cdot 10^{-6}$$
$$[\Delta\varepsilon_3] = 74{,}71 \cdot 10^{-6}$$
$$[\Delta\varepsilon_4] = 92{,}24 \cdot 10^{-6}$$

Wie bereits Herweg begründete, kommen diese Änderungen zustande aus einem Zusammenwirken des Dipoleffekts und einer adiabatischen Erwärmung des Dielektrikums infolge der Überlagerung der hohen Gleichspannung durch die schnellen elektrischen Schwingungen des Meßfeldes oder thermodynamisch gesprochen: infolge der Verschiebungsarbeit, welche das an den molekularen Ladungen angreifende Wechselfeld gegen die Einstellung der Ladungen im statischen Feld leistet. Unter der Voraussetzung, daß der kalorische Effekt, welcher durch eine Einwirkung des hochfrequenten Meßfeldes allein zustande kommt (Vorspannung $E = 0$), unmerklich bleibt, wegen der Kleinheit der Spannungsamplitude (im vorliegendem Fall 70 Volt), gilt nach Herweg:

$$[\Delta\varepsilon]_{ad} = -0{,}884 \cdot 0{,}239 \cdot 10^{-13} \cdot \frac{T \cdot \alpha^2 \varepsilon^2}{s \cdot c} \cdot \mathfrak{E}^2.$$

Diese Beziehung folgt aus dem Helmholtzschen Ansatz für diese Korrektion und entspricht unter Bezugnahme auf die Debyesche Benennung dem quadratischen elektrokalorischen Effekt (7). In der Formel bedeutet T die absolute Temperatur, α den Temperaturkoeffizienten der D.-K., s die Dichte, c die spezifische Wärme des Dielektrikums. $\mathfrak{E}$ ist in Volt/cm einzusetzen. Da diese Änderung von ε gleichsinnig mit dem Dipoleffekt geht, so erhält man die vom letzteren allein verursachte Änderung durch Verkleinerung der Werte $[\Delta\varepsilon]$ um die entsprechenden Werte $[\Delta\varepsilon]_{ad}$, so daß also wird $\Delta\varepsilon_D = [\Delta\varepsilon] - [\Delta\varepsilon]_{ad}$, wenn $\Delta\varepsilon_D$ die reine Dipoländerung bezeichnet.

Für den Fall des Äthyläthers ist zu setzen: $T = 294$, entsprechend der Versuchstemperatur 21° C; $s = 0{,}717$; $c = 0{,}56$; $\alpha = 0{,}0046$; $\varepsilon = 4{,}35$. Da ferner der Abstand der Kondensatorplatten $d = 0{,}205$ cm, wird $\mathfrak{E} = \frac{E}{d} = \frac{E}{0{,}205}$.

Hieraus errechnet sich:

$$[\Delta\varepsilon_1]_{ad} = 2{,}36 \cdot 10^{-6}$$
$$[\Delta\varepsilon_2]_{ad} = 6{,}32 \cdot 10^{-6}$$
$$[\Delta\varepsilon_3]_{ad} = 12{,}48 \cdot 10^{-6}$$
$$[\Delta\varepsilon_4]_{ad} = 17{,}84 \cdot 10^{-6}$$

und es folgt für die Dipoländerungen:

$$\Delta\varepsilon_1 = 14{,}04 \cdot 10^{-6}$$
$$\Delta\varepsilon_2 = 35{,}91 \cdot 10^{-6}$$
$$\Delta\varepsilon_3 = 62{,}23 \cdot 10^{-6}$$
$$\Delta\varepsilon_4 = 79{,}40 \cdot 10^{-6}$$

im Sinne einer Verkleinerung.

Chloroform (Chloroform Anschütz, chem. rein aus Salizylidchloroform, bezogen durch Merck). Nach 2maliger Destillation unter Lichtabschluß und nach Kataphorese war $K = 2{,}4 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{cm}^{-1}\,\mathrm{Ohm}^{-1}$ bei 57000 Volt/cm gemessen.

Die Versuchsergebnisse sind folgende:

$$\Delta n_1 = 3{,}64\ \mathrm{sec}^{-1} \text{ bei Spannung } E_1 = 5250 \text{ Volt}$$
$$\Delta n_2 = 7{,}18\ \mathrm{sec}^{-1} \text{ bei Spannung } E_2 = 7900 \text{ Volt}$$
$$\Delta n_3 = 11{,}35\ \mathrm{sec}^{-1} \text{ bei Spannung } E_3 = 10500 \text{ Volt}$$

Die Δn entsprechen einer Verkleinerung der D.-K. unter Einwirkung des Feldes und sind Mittelwerte aus je 400 Einzelbeobachtungen.

Mit den Werten:

$$\varepsilon = 5{,}16;\ C_1 = 959{,}9 \text{ cm};\ C = 932{,}6 \text{ cm};$$
$$\lambda = 230 \text{ m};\ n = 1{,}3 \cdot 10^6\ \mathrm{sec}^{-1}$$

ergeben sich die Änderungen der D.-K.:

$$[\Delta\varepsilon_1] = 29{,}74 \cdot 10^{-6}$$
$$[\Delta\varepsilon_2] = 58{,}67 \cdot 10^{-6}$$
$$[\Delta\varepsilon_3] = 92{,}74 \cdot 10^{-6}$$

Laut der Herwegschen Korrektion, in welcher jetzt zu setzen ist: $T = 295$ [1]; $\alpha = 0{,}0041$; $s = 1{,}493$; $c = 0{,}234$; $\mathfrak{E} = \frac{E}{d}$, wo $d = 0{,}205$ cm, erhält man für die adiabatischen Änderungen:

$$[\Delta\varepsilon_1]_{ad} = 5{,}24 \cdot 10^{-6}$$
$$[\Delta\varepsilon_2]_{ad} = 11{,}86 \cdot 10^{-6}$$
$$[\Delta\varepsilon_3]_{ad} = 20{,}95 \cdot 10^{-6}$$

Somit folgen die Dipoländerungen:

$$\Delta\varepsilon_1 = 24{,}50 \cdot 10^{-6}$$
$$\Delta\varepsilon_2 = 46{,}81 \cdot 10^{-6}$$
$$\Delta\varepsilon_3 = 71{,}79 \cdot 10^{-6}$$

im Sinne einer Verkleinerung.

1) Entsprechend 22° C Versuchstemperatur.

Chlorbenzol (rein von Kahlbaum). Nach Reinigung durch Kataphorese betrug das Leitvermögen $K = 2 \cdot 10^{-13}$ cm^{-1} Ohm^{-1} gemessen bei 59 000 Volt/cm. Erst nach Anlegen einer hohen Spannung zeigte sich hier eine Änderung der Frequenz des Meßkreises, die einer Verkleinerung der Kapazität entsprach. Bei 10 500 Volt kamen $\Delta n = 3{,}16$ Schwebungen pro Sek. zustande als Mittel von 900 Ablesungen. In Abweichung zu dem im Landolt-Börnstein angegebenen Wert der D.-K. für Chlorbenzol (etwa 11) wurde bestimmt: $\varepsilon = 5{,}86$ bei 18° C. Aus den übrigen Werten: $C_1 = 1150{,}3$ cm; $C = 1109{,}3$ cm; $\lambda = 250$ m, $n = 1{,}2 \cdot 10^6$ sec^{-1} ergibt sich die Verkleinerung: $[\Delta\varepsilon] = 32{,}00 \cdot 10^{-6}$. In der Herwegschen Korrektion ist zu setzen: $T = 293{,}5$ (da die Versuchstemperatur $t = 20{,}5^0$ C), $s = 1{,}108$; $c = 0{,}32$; $\varepsilon = 5{,}86$. Der Wert α wurde in einem besonderen Versuche zu etwa 0,0028 bei 50° C ermittelt. Diesem Wert kommt jedoch nur eine provisorische Bedeutung zu, da die Versuchsanordnung nicht auf empfindliche Temperaturbestimmungen eingestellt war, ferner war kein einwandfreier Temperaturausgleich im Dielektrikum gewährleistet, und es wurde der Einfluß der Erwärmung des Kondensatorgefäßes auf die Messungen vernachlässigt. Rechnet man mit den angegebenen Werten, so folgt für die Verkleinerung der D.-K. durch die adiabatische Erwärmung bei 10 500 Volt auf den Abstand 0,205 cm:

$$[\Delta\varepsilon]_{ad} = 12{,}35 \cdot 10^{-6}.$$

Damit ergibt sich:

$$\Delta\varepsilon = 19{,}65 \cdot 10^{-6}$$

im Sinne einer Verkleinerung.

Methylenchlorid erwies sich als ungeeignet für diese Versuche. Die Leitfähigkeit blieb nach 3maligem Destillieren und nach Kataphorese $K = 1{,}2 \cdot 10^{-10}$ cm^{-1} Ohm^{-1} bei 1000 Volt/cm. In einem Nebenversuch wurde die D.-K.: $\varepsilon = 8{,}4$ bestimmt bei 18°.

Bromoform und Brombenzol konnten zwar durch 72stünd. Einwirkung von 1000 Volt/cm in ihrer Leitfähigkeit von 10^{-11} auf 10^{-12} herabgesetzt werden, jedoch genügte diese Reduktion noch nicht, um einwandfreie Resultate zu gewährleisten.

Bei probeweisem Anlegen von 4000 Volt an den Meßkondensator zeigten sich ausgesprochene starke Verzögerungserscheinungen beim Zustandekommen der Schwebungen, was auf einen Temperatureffekt infolge der Erwärmung des Dielektrikums durch relativ großen Stromdurchgang hindeutete. Messungen wurden deshalb nicht ausgeführt.

Schwefelkohlenstoff. Leitvermögen $K = 4{,}8 \cdot 10^{-14}$ bei 56 000 Volt/cm. Bei Anlegen von 10 500 Volt an den Kondensator erfolgte eine Kapazitätsvergrößerung entsprechend einer Frequenzverkleinerung um $\Delta n = 0{,}98$ sec^{-1} (Mittel aus 200 Beobachtungen). Aus den Versuchsdaten $C_1 = 516{,}3$ cm; $C = 510{,}5$ cm; $\lambda = 170$ m; $n = 1{,}8 \cdot 10^6$ sec^{-1}; $\varepsilon = 2{,}62$ folgt: $[\Delta\varepsilon] = 2{,}90 \cdot 10^{-6}$. Die adiabatische Erwärmung des Dielektrikums verkleinert diese Änderung und ist daher zu addieren, um den reinen Effekt der molekularen Ladungen zu erhalten. Es wird $[\Delta\varepsilon]_{ad} = 0{,}313 \cdot 10^{-6}$, wobei in der Herwegschen Korrektionsformel gesetzt wurde: $T = 293{,}5$ (entsprechend $t = 20{,}5^0$C), $\alpha = 0{,}000922$; $s = 1{,}265$; $c = 0{,}24$; $\varepsilon = 2{,}62$. Somit bekommt man: $\Delta\varepsilon = [\Delta\varepsilon] + [\Delta\varepsilon]_{ad} = 3{,}21 \cdot 10^{-6}$ im Sinne einer Vergrößerung.

Hexan (von Kahlbaum, normal aus Petroleum). Nach 4maliger Destillation und anhaltender Einwirkung eines statischen Feldes zwecks Reinigung war $K = 3{,}4 \cdot 10^{-13}$ cm^{-1} Ohm^{-1} bei 40 000 Volt/cm gemessen. Die Einwirkung von 8000 Volt auf das Dielektrikum hatte keine Änderung der D.-K. zur Folge.

Diskussion der Meßergebnisse.

Debye (7)[1]) leitet im Verlauf seiner kinetischen Theorie der Dielektrika für die Änderung der D.-K. eines flüssigen Mediums folgende Beziehung ab: $\Delta\varepsilon = \frac{4\pi}{27}(\varepsilon + 2)^4 N(\Theta_1 + \Theta_2 - \Theta_3)\mathfrak{E}^2$, wobei $\Delta\varepsilon$ die fragliche Änderung, ε die D.-K., N die Anzahl Moleküle pro ccm und $\mathfrak{E}$ die absolut gemessene Feldstärke bedeuten. Die Größen Θ_1 und Θ_2 kennzeichnen die Konfiguration der Ladungen im Molekül. Insbesondere charakterisiert Θ_1 den Einfluß des Feldes auf die Polarisationselektronen und die dadurch vermittelte Änderung der D.-K. Für Dipolsubstanzen speziell trägt die Größe Θ_2 noch der Wirkung der Momenteneinstellung auf die Gesamtanordnung der Ladungen Rechnung. Θ_3 schließlich repräsentiert ebenfalls beim Vorhandensein von Dipolen den Einfluß der dem schwingenden Meßfeld folgenden Moleküle mit Momentencharakter auf die D.-K.-Änderung, sofern die Frequenz $n < 10^9$ sec^{-1}. Die Größen Θ_1 und Θ_2 kehren in analoger Bedeutung beim Kerreffekt wieder, lediglich modifiziert für die Verhältnisse der optischen Frequenzen, d. h., sie sind dann ausgesprochen frequenzabhängig und vereinigen die bisweilen verschieden gerichteten Einflüsse der optischen Schwingungen und des statischen Feldes auf die Ladungsstruktur und damit auf die elektrische Doppelbrechung in sich.

Auf Grund der angeführten Beziehung wäre zunächst zu erwarten, daß die Änderung der

1) S. 780.

D.-K. quadratisch mit der Feldstärke ansteigt. Die Meßergebnisse sowohl an Äthyläther als auch an Chloroform zeigen im Gegensatz hierzu von etwa 5000 Volt (auf 0,205 cm) an eine deutliche Abweichung von einer Linearität mit E^2

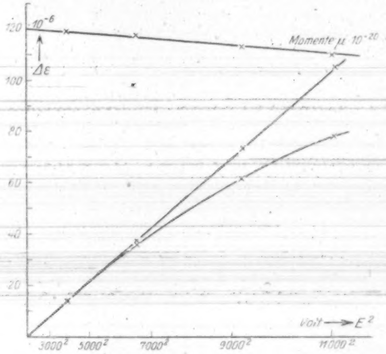


Fig. 5.
Äthyläther.

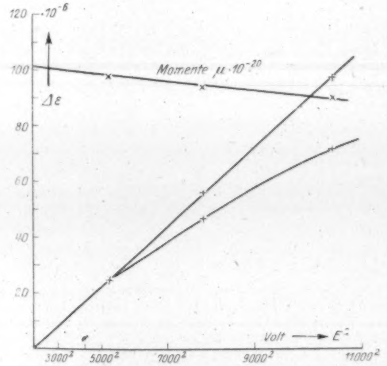


Fig. 6.
Chloroform.

(Fig. 5 und 6) und stellen vielmehr Kurven dar, die auf eine Sättigung hinweisen. Solche Sättigungserscheinungen sieht die Debyesche Theorie auch vor, und dementsprechend gilt die erwähnte Formel nur als erste Näherung. Um aus der Theorie auf die für Sättigungserscheinungen in Betracht kommenden Feldstärken schließen zu können, müßte eine weitere Näherung des Ausdruckes für die Änderung der D.-K. angesetzt werden. Empirisch lassen sich die gefundenen Werte $\Delta\varepsilon$ aus den linearen Werten $\Delta\varepsilon'$, (die man durch Extrapolation aus den $\Delta\varepsilon$ für kleine Feldstärken erhält), innerhalb des beobachteten Bereiches mit einiger Annäherung darstellen gemäß der Formel: $\Delta\varepsilon = \Delta\varepsilon' \cdot (1 - CE^2)$, wo für Äthyläther $C = 2 \cdot 10^{-9}$, für Chloroform $C = 2{,}47 \cdot 10^{-9}$ ist. In den folgenden Tabellen werden die durch diese Beziehung aus den extrapolierten Werten $\Delta\varepsilon'$ berechneten Änderungen $\Delta\varepsilon$ den beobachteten Werten gegenübergestellt.

Äther

Linearwerte	berechnet	beobachtet
$\Delta\varepsilon_2' = 37{,}7 \cdot 10^{-6}$	$\Delta\varepsilon_2 = 34{,}4 \cdot 10^{-6}$	$\Delta\varepsilon_2 = 35{,}9 \cdot 10^{-6}$
$\Delta\varepsilon_3' = 74{,}3 \cdot 10^{-6}$	$\Delta\varepsilon_3 = 61{,}7 \cdot 10^{-6}$	$\Delta\varepsilon_3 = 62{,}2 \cdot 10^{-6}$
$\Delta\varepsilon_4' = 106{,}2 \cdot 10^{-6}$	$\Delta\varepsilon_4 = 80{,}5 \cdot 10^{-6}$	$\Delta\varepsilon_4 = 79{,}4 \cdot 10^{-6}$

Chlorform

Linearwerte	berechnet	beobachtet
$\Delta\varepsilon_2' = 55{,}5 \cdot 10^{-6}$	$\Delta\varepsilon_2 = 46{,}8 \cdot 10^{-6}$	$\Delta\varepsilon_2 = 46{,}8 \cdot 10^{-6}$
$\Delta\varepsilon_3' = 98{,}0 \cdot 10^{-6}$	$\Delta\varepsilon_3 = 71{,}0 \cdot 10^{-6}$	$\Delta\varepsilon_3 = 71{,}8 \cdot 10^{-6}$

Da mit Rücksicht auf theoretische Folgerungen aus dem Sättigungscharakter der erhaltenen Kurven die Spannungsmessungen sorgfältig kontrolliert wurden, und da sich bei den Nacheichungen mit bewährten Präzisionsinstrumenten in betriebsmäßigem Zustande der Anordnung im Mittel nur Abweichungen von etwa 1 Proz. für die fraglichen Werte ergaben, können die beobachteten Differenzen der D.-K.-Änderungen mit den Linearwerten keinesfalls auf fehlerhaft angesetzte Spannungsbeträge zurückgeführt werden. Eine jede andere Fehlerquelle würde sich jedoch in ähnlichen Beträgen bei den Versuchen mit Benzol, Hexan und Schwefelkohlenstoff ausgewirkt haben, da während der endgültigen Messungen keine Veränderungen an der Anordnung vorgenommen wurden.

Zur Berechnung des molekularen Moments aus der Debyeschen Formel für die Änderung der D.-K. durch statische Felder können unter gewissen Voraussetzungen die Größen Θ_1 und Θ_2 unterdrückt werden, nämlich dann, wenn die betreffende Flüssigkeit eine nur kleine Kerrkonstante aufweist, d. h. wenn Ke etwa dem Betrage $1 \cdot 10^{-12} \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{erg}}\right)$ nahekommt oder kleiner ist.

Dabei ist nach Debye $Ke = B \frac{\lambda}{n_0}$, wo B die gebräuchliche Kerrkonstante, λ die Wellenlänge des benutzten Lichtes im untersuchten Medium und n_0 der Brechungsindex des unbeeinflußten Materials ist. Gestattet man sich diese Vernachlässigung von Θ_1 und Θ_2 so erhält man für das Moment die Beziehung:

$$\mu = \sqrt[4]{\frac{27 \cdot 45 \cdot k^3 T^3 \Delta\varepsilon}{4\pi(\varepsilon + 2)^4 N \mathfrak{E}^2}},$$

dabei ist die Definition der Größe Θ_3 benutzt. Es ist

$$\Theta_3 = \frac{1}{45} \frac{\mu^4}{k^3 T^3}.$$

Hierbei bedeutet außer den bereits angegebenen Bezeichnungen das Zeichen k die Plancksche Zahl $= 1{,}346 \cdot 10^{-16}$.

Nach dieser Formel berechnete bereits Herweg das Moment des Äthyläthers aus ähnlichen Kapazitätsmessungen wie die vorliegenden, und es ist zu bemerken, daß sich dabei nur geringfügige Abweichungen von einer strengeren Berechnung ergeben. Im folgenden soll nun der Einfluß der „quasioptischen" Glieder Θ_1 und Θ_2 mit berücksichtigt werden. Sollten diese Größen exakt bestimmt werden, so hätte man die geschilderten Versuche zu wiederholen bei einer Frequenz $n \sim 10^9$ unter der Voraussetzung, daß von $n \sim 10^9\ \mathrm{sec}^{-1}$ ab mit fallenden Frequenzen die Werte Θ_1 und Θ_2 konstant bleiben, d. h. keine Dispersion mehr aufweisen. Θ_3 verschwindet für Frequenzen $> 10^9$. Macht man nun die Annahme, daß der Kerreffekt vom optischen Spektralgebiet aus über das Ultrarot stetig übergeht in den dielektrischen Effekt für langsame elektrische Schwingungen, was mit der Annahme einer stetigen und geringen Dispersion der Kerrkonstanten jenseits des langwelligen Lichts zusammenfällt, so kann man die Werte $(\Theta_1 + \Theta_2)$ für langsame elektrische Schwingungen aus der Kerrkonstanten für rotes Licht mit einiger Annäherung extrapolieren. Dazu setzt man in der Formel für den Kerreffekt das Quadrat des Brechungsindex gleich der D.-K. der betreffenden Flüssigkeit und für die oben definierte Kerrkonstante Ke den für rotes Licht geltenden Wert. Dadurch wird die Debyesche Beziehung für die elektrische Doppelbrechung, nämlich der Ausdruck:

$$\frac{(n_0^2-1)(n_0^2+2)}{4\,n_0^2} \cdot \frac{\Theta_1+\Theta_2}{\gamma} \left(\frac{\varepsilon+2}{3}\right)^2 = Ke,$$

wo

$$\gamma = \frac{3}{4\pi N_0} \cdot \frac{n_0^2-1}{n_0^2+2}$$

und n_0 = Brechungsindex, umgewandelt in die Annäherungsformel für ultrarote Schwingungen

$$Ke\,(\mathrm{rot}) = \frac{\pi \cdot N_0 (\varepsilon+2)^4 (\Theta_1+\Theta_2)}{27\,\varepsilon}$$

und also

$$\Theta_1 + \Theta_2 = \frac{27 \cdot \varepsilon \cdot Ke\,(\mathrm{rot})}{\pi N_0 (\varepsilon+2)^4}.$$

Die hierdurch erhaltenen Werte für $(\Theta_1 + \Theta_2)$ werden im allgemeinen etwas zu groß ausfallen, da sich die Dispersion von Ke auch noch über das Ultrarot erstreckt; sie geben indes mit einiger Sicherheit an, ob dieser Beitrag zur Änderung der D.-K. im statischen Feld merklich ist oder nicht.

Nach den Angaben von Leiser (8) ist für Äthyläther $100 \frac{B}{B_0} = -20{,}5$, wo B_0 der Kerrkoeffizient für Schwefelkohlenstoff als Bezugseinheit ist. Setzt man für B_0 den Wert von Chaumont: $+3{,}226 \cdot 10^{-7}$, so folgt für $\lambda = 700\,\mu\mu$ und $n_0 = 1{,}36$ der Wert Ke (Äther) $= -3{,}4 \cdot 10^{-12}$. Weiter hat man noch N_0 = Anzahl Moleküle pro ccm zu berechnen; es ist $N_0 = \frac{L \cdot s}{m}$, wo L (Loschmidtsche Zahl) $= 6{,}175 \cdot 10^{23}$ Moleküle pro Grammol und speziell für Äthyläther: s (Dichte) $= 0{,}717$, m (Molekulargewicht) $= 74{,}1$ ist. Damit ergibt sich $N_0 = 5{,}98 \cdot 10^{21}$.

Folglich wird $\Theta_1 + \Theta_2 = -0{,}131 \cdot 10^{-34}$.

Andererseits folgt aus der am Anfang dieses Abschnittes angegebenen Formel für die Änderung der D.-K. die Beziehung:

$$(\Theta_1 + \Theta_2 - \Theta_3) = \frac{27 \cdot \Delta\varepsilon}{4\pi(\varepsilon+2)^4 \cdot N \cdot \mathfrak{E}^2},$$

wo $\mathfrak{E}$ absolut einzusetzen ist.

Aus den $\Delta\varepsilon$ für die einzelnen Feldstärken folgt:

$$(\Theta_1 + \Theta_2 - \Theta_3)_{\mathrm{I}} = -7{,}341 \cdot 10^{-34}\ (E_1 = 4000\,\mathrm{V.})$$
$$(\Theta_1 + \Theta_2 - \Theta_3)_{\mathrm{II}} = -7{,}001 \cdot 10^{-34}\ (E_2 = 6550\,\mathrm{V.})$$
$$(\Theta_1 + \Theta_2 - \Theta_3)_{\mathrm{III}} = -6{,}150 \cdot 10^{-34}\ (E_3 = 9200\,\mathrm{V.})$$
$$(\Theta_1 + \Theta_2 - \Theta_3)_{\mathrm{IV}} = -5{,}490 \cdot 10^{-34}\ (E_4 = 11000\,\mathrm{V.})$$

Entsprechend ergibt sich hieraus:

$$\Theta_3^{\mathrm{I}} = 7{,}210 \cdot 10^{-34}$$
$$\Theta_3^{\mathrm{II}} = 6{,}870 \cdot 10^{-34}$$
$$\Theta_3^{\mathrm{III}} = 6{,}019 \cdot 10^{-34}$$
$$\Theta_3^{\mathrm{IV}} = 5{,}359 \cdot 10^{-34}.$$

Gemäß der Beziehung $\mu = \sqrt[4]{45 \cdot k^3 T^3 \Theta_3}$ berechnen sich mit $T = 294$ als Momentwerte die Zahlen:

$$\mu_1 = 11{,}90 \cdot 10^{-19}$$
$$\mu_2 = 11{,}77 \cdot 10^{-19}$$
$$\mu_3 = 11{,}38 \cdot 10^{-19}$$
$$\mu_4 = 11{,}06 \cdot 10^{-19}$$

Da das Moment eines Moleküls als konstant angesehen wird, so wird die Variation der gefundenen Werte vorgetäuscht durch die allmählich gesteigerte Sättigungserscheinung. Der Unterschied der gefundenen Werte beträgt im Maximum 8 Proz., während die Herwegschen Werte nur etwa um 4 Proz. voneinander abweichen, ohne einen so ausgesprochenen Gang mit der Feldstärke aufzuweisen, wie es bei den vorliegenden Werten der Fall ist. Letztere verlaufen im Beobachtungsbereich annähernd linear mit E^2. Daraufhin kann man extrapolieren auf μ_0 für

$E = 0$; es folgt dann $\mu_0 = 12{,}02 \cdot 10^{-19}$, dabei ist noch zu bemerken, daß dieser Wert als etwas zu klein angesehen werden muß, wegen der Dispersion von $(\Theta_1 + \Theta_2)$ im Ultrarot. Man kann schließlich innerhalb des beobachteten Bereiches noch ansetzen

$$\mu_i = \mu_0 \left(1 - C E_i^2\right) \text{ wo } C = 6{,}2 \cdot 10^{-10}.$$

Zum Vergleich werde angeführt, daß unter Vernachlässigung der „quasioptischen" Glieder sich μ_0 zu $12{,}07 \cdot 10^{-19}$ [1]) ergibt, verzichtet man außerdem noch auf die Herwegsche Korrektion, so wird $\mu_0 = 12{,}53 \cdot 10^{-19}$.

Debye führt bei der Erläuterung der Gleichung für die Änderung der D.-K. an, daß sich noch eine Korrektion bezüglich der Zahl N infolge des Einflusses der Elektrostriktion nötig mache. Nach seiner Bezeichnung ist:

$$\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{\delta k}{\delta p} \cdot \frac{\mathfrak{E}^2}{2} \text{ oder } = \frac{\mathfrak{E}^2}{8\pi} \cdot \frac{\delta \varepsilon}{\delta p}$$

wo ΔN die Änderung der Anzahl der Moleküle pro ccm infolge der Elektrostriktion ist, und $\frac{\delta \varepsilon}{\delta p}$ die Druckabhängigkeit der D.-K. kennzeichnet. Es wird demnach

$$N = N_0 + \Delta N = N_0 \left(1 + \frac{\mathfrak{E}^2}{8\pi} \cdot \frac{\delta \varepsilon}{\delta p}\right).$$

Nach Grenacher (9) ist für Äthyläther:

$$\gamma = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{\delta \varepsilon}{\delta p} = 2{,}19 \cdot 10^{-4}\,[\text{Atm.}]^{-1}.$$

Demzufolge ergibt sich $N = N_0(1 + 1{,}177 \cdot 10^{-6})$, wonach der Einfluß der Elektrostriktion zu vernachlässigen ist. $\mathfrak{E}$ entspricht bei dieser Berechnung der höchsten angewandten Spannung $E = 11\,000$ Volt.

Ganz analoge Betrachtungen ergeben sich für Chloroform. Für $(\Theta_1 + \Theta_2 - \Theta_3)$ findet man

(bei $E_1 = 5250$ Volt) : $-3{,}559 \cdot 10^{-34}$
(bei $E_2 = 7900$ Volt) : $-3{,}002 \cdot 10^{-34}$
(bei $E_3 = 10500$ Volt) : $-2{,}607 \cdot 10^{-34}$.

Dabei ist in der betreffenden Formel $N = 7{,}724 \cdot 10^{21}$ zu setzen. Nimmt man für $Ke = -13 \cdot 10^{-12}$ an (nach Debye in Marx, Handbuch der Radiologie VI, S. 770), so ergibt sich mit $\lambda = 700\,\mu\mu$, $n_0 = 1{,}45$ für $\Theta_1 + \Theta_2$ der Betrag $-0{,}284 \cdot 10^{-34}$. Hiernach berechnen sich im selben Sinne wie bei Äthyläther:

$$\Theta_3^{\mathrm{I}} = 3{,}275 \cdot 10^{-34}$$
$$\Theta_3^{\mathrm{II}} = 2{,}718 \cdot 10^{-34}$$
$$\Theta_3^{\mathrm{III}} = 2{,}323 \cdot 10^{-34}$$

1) Der entsprechende Herwegsche Wert ist $\mu = 12{,}00 \cdot 10^{-19}$.

Für das Moment folgen die entsprechenden Werte:

$\mu_1 = 9{,}80 \cdot 10^{-19}$, $\mu_2 = 9{,}36 \cdot 10^{-19}$, $\mu_3 = 8{,}99 \cdot 10^{-19}$ (dabei wird in der Berechnung $T = 295$ eingesetzt).

Extrapolation auf $E = 0$ ergibt

$$\mu_0 = 10{,}07 \cdot 10^{-19}.$$

Aus demselben Grunde wie bei Äthyläther ist auch dieser Wert als etwas unterhalb des wirklichen liegend anzusehen[1]). Sänger (Arch. sc. phys. et nat. (5) 8, 273, 1926 Sept.-Okt., C. R. Soc. suisse de phys. Fribourg 1926) findet aus der Temperaturabhängigkeit der D.-K. von Chloroformdampf den Wert $\mu = 9{,}5 \cdot 10^{-19}$. Aus Beobachtungen an verdünnten Lösungen von Chloroform in Benzol und in Tetrachlorkohlenstoff schließt Williams (Williams and Krehma J. Amer. Chem. Soc. **49**, 1676, 2408, 1927) auf die Werte $11{,}0 \cdot 10^{-19}$, bzw. $11{,}5 \cdot 10^{-19}$. Annähernd besteht auch diesmal im Beobachtungsbereich $\mu_i = \mu_0\left(1 - CE_i^2\right)$, wo $C = 1 \cdot 10^{-9}$. Rechnet man nach der von Herweg benutzten Formel, so kommt $\mu_0 = 10{,}26 \cdot 10^{-19}$. Unterdrückt man die Herwegsche Korrektion für die adiabatische Erwärmung, so wird $\mu_0 = 10{,}71 \cdot 10^{-19}$. Die Elektrostriktion ist in analoger Größenordnung wie bei Äthyläther vernachlässigbar.

Chlorbenzol stellt einen Fall dar, bei welchem die „quasioptischen" Glieder eine merkliche Rolle spielen für das Zustandekommen der D.-K.-Änderung. Nach den Arbeiten von Leiser (8) ist für Chlorbenzol (rotes Licht) $100 \frac{B}{B_0} = +385$, wobei B_0 wieder $= +3{,}226 \cdot 10^{-7}$ gesetzt werden soll. Für $\lambda = 700\,\mu\mu$ und $n_0 = 1{,}5$ ergibt sich Ke zu $+57{,}96 \cdot 10^{-12}$. Zur Auswertung von $(\Theta_1 + \Theta_2)$ ist jetzt N_0 mit $6{,}082 \cdot 10^{21}$ anzusetzen, mit $\varepsilon = 5{,}86$[2]) bekommt man:

$$(\Theta_1 + \Theta_2) = +12{,}576 \cdot 10^{-35},$$

während sich aus der Änderung der D.-K. der Wert

$$(\Theta_1 + \Theta_2 - \Theta_3) = -6{,}237 \cdot 10^{-35}$$

ergibt für $E = 10\,500$ Volt. Da in diesem Falle der Einfluß von $(\Theta_1 + \Theta_2)$ auf die Änderung von ε entgegengesetzt ist dem von Θ_3, so folgt: $\Theta_3 = 18{,}813 \cdot 10^{-35}$ und hieraus weiter mit $T = 293{,}5$ der Wert

$$\mu = 8{,}50 \cdot 10^{-19}.$$

Da wegen der Dispersion des Kerreffekts im Ultrarot der Wert $(\Theta_1 + \Theta_2)$ wieder zu groß

1) Für Chloroform wurden bisher noch keine Momentenbestimmungen auf Grund der Spannungsabhängigkeit der D.-K. ausgeführt.

2) In Abweichung zu Landolt-Börnstein.

angesetzt ist, erscheint das berechnete Moment μ wegen der entgegengesetzten Wirkung von $(\Theta_1 + \Theta_2)$ und Θ_3 jetzt als etwas zu groß[1]). Höjendahl (10) findet aus Beobachtungen von Temperatur- und Konzentrationsabhängigkeit der D.-K. an Benzolgemischen und Extrapolation auf ∞ große Verdünnung den Wert $\mu = 15{,}8 \cdot 10^{-19}$, Williams, loc. cit. den Wert $\mu = 15{,}5 \cdot 10^{-19}$. Ohne Berücksichtigung der Größe $(\Theta_1 + \Theta_2)$ würde man erhalten:

$$\mu = 6{,}45 \cdot 10^{-19};$$

läßt man außerdem noch die Herwegsche Korrektion beiseite, so wird $\mu = 7{,}29 \cdot 10^{-19}$.

Zu den Beobachtungen an Schwefelkohlenstoff ist anzuführen, daß die Änderung der D.-K. lediglich als Wirkung der Polarisationselektronen zustandekommt. In diesem Falle kann man umgekehrt wie bisher aus der Änderung von ε durch das statische Feld auf die Größe der Kerrkonstanten für lange elektrische Wellen bzw. für das ultrarote Gebiet schließen. Aus der Debyeschen Formel für den dielektrischen Effekt ergibt sich bei Einsetzen von $N = 1{,}026 \cdot 10^{22}$ und $E = 10500$ Volt: $\Theta_1 = \Theta = +5{,}178 \cdot 10^{-35}$, dabei ist also jetzt $\Theta_2 = \Theta_3 = 0$, weil keine Dipole vorhanden sind. Führt man diesen Wert in die Formel für den Kerreffekt (mit $n_0^2 = \varepsilon$) ein, so folgt $Ke_\infty = +10{,}752 \cdot 10^{-12}$. Es kann in diesem Fall einfach gesetzt werden

$$Ke = \frac{\Delta\varepsilon}{4\varepsilon\mathfrak{E}^2}, \quad \text{wobei } \mathfrak{E}(\text{abs.}) = \frac{10\,500 \text{ Volt}}{300 \cdot 0{,}205 \text{ cm}}.$$

Berechnet man aus den Werten B, welche Lyon (Ann. d. Phys. **4**, 46, 764, 1915) in seiner Arbeit über die Dispersion des Kerreffekts für Schwefelkohlenstoff angibt, die entsprechenden Werte Ke nach der Definition von Debye, so erhält man die Kurve der Fig. 7. Daraus ergibt sich, daß der nach den vorliegenden Messungen aus der D.-K.-Änderung infolge eines äußeren Feldes bestimmte Wert

$$Ke_\infty = +10{,}752 \cdot 10^{-12}\left(\frac{cm^3}{\text{erg}}\right)$$

zwanglos in die Dispersionskurve eingefügt werden kann oder zumindest einen im Bereiche der möglichen Werte liegenden Betrag darstellt.

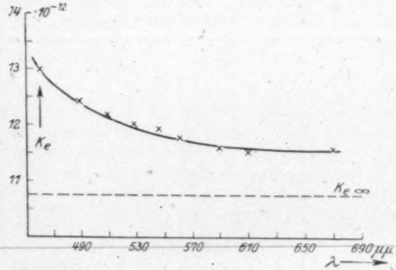


Fig. 7.
Dispersion des Schwefelkohlenstoffs nach N. Lyon.

1) Auch für Chlorbenzol wurde in der vorliegenden Arbeit erstmalig das Moment aus der Spannungsabhängigkeit der D.-K. berechnet.

Zum Abschluß sei noch bemerkt, daß für Benzol zunächst einmal der adiabatische quadratische elektrokalorische Effekt unmerklich bleibt. Die Herwegsche Korrektionsformel gibt für diesen Fall eine Änderung der D.-K.: $[\Delta\varepsilon]_{ad} = 0{,}151 \cdot 10^{-6}$ an, bei 10500 Volt auf 0,205 cm, was weit unterhalb der Beobachtbarkeit liegt. Wegen der Kleinheit des Kerreffekts bleibt andrerseits die Einwirkung des Feldes auf die Polarisationselektronen und damit auf die D.-K. ebenfalls jenseits der Meßgrenze. Dasselbe gilt auch für die Versuche mit Hexan.

Zusammenfassung.

Aus der Änderung der Dielektrizitätskonstanten durch elektrostatische Felder wurden unter dem Gesichtspunkt der Debyeschen kinetischen Theorie der Dielektrika die molekularen Momente von Äthyläther, Chloroform und Chlorbenzol bestimmt.

Bei Äthyläther und Chloroform wurden Sättigungserscheinungen für die durch äußere Felder erzeugten Änderungen der Dielektrizitätskonstanten festgestellt. Mit Berücksichtigung der scheinbaren Spannungsabhängigkeit der Dipolmomente wurde für die auf die Spannung $E = 0$ extrapolierten Momente gefunden:

$$\mu_0\,(\text{Äthyläther}) = 12{,}02 \cdot 10^{-19}$$
$$\mu_0\,(\text{Chloroform}) = 10{,}07 \cdot 10^{-19}.$$

Das Dipolmoment von Chlorbenzol ergab sich zu $\mu = 8{,}50 \cdot 10^{-19}$.

Herweg fand aus analogen Versuchen für Äthyläther $\mu = 12{,}00 \cdot 10^{-19}$. Für Chloroform und Chlorbenzol wurden bisher noch keine entsprechenden Messungen ausgeführt. Nach dem Herwegschen Ansatz folgt aus den vorliegenden Messungen:

$$\mu_0 = 12{,}07 \cdot 10^{-19} \text{ für Äthyläther,}$$
$$\mu_0 = 10{,}26 \cdot 10^{-19} \text{ für Chloroform,}$$
$$\mu_0 = 6{,}15 \cdot 10^{-19} \text{ für Chlorbenzol.}$$

Aus der Spannungsabhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten von Schwefelkohlenstoff wurde der der Kerrkonstanten für langsame elektrische Schwingungen entsprechende Wert

$$Ke_\infty = +10{,}75 \cdot 10^{-12}\left(\frac{\text{cm}^3}{\text{erg}}\right)$$

berechnet. Dieser Wert paßt in die Dispersions-

kurve der Kerrkonstanten unter Bezugnahme auf die Beobachtungen von Lyon im Gebiet der optischen Schwingungen.

Zum Schlusse möchte ich meinem hochverehrten, unvergeßlichen Lehrer Otto Wiener herzliche Worte des Dankes widmen. Der Verstorbene zeigte jederzeit großes Verständnis für die experimentellen Schwierigkeiten der gestellten Aufgabe und erwies sich stets bereit zu diesbezüglichen Erörterungen und Ratschlägen. Als zielbewußter Förderer meiner Bestrebungen und williger Helfer bei persönlichen Anliegen wird er mir in der Erinnerung immer ein wohlwollender Freund und Führer bleiben.

Weiterhin möchte ich nicht versäumen, auch Herrn Prof. Dr. A. Karolus zu danken für die Anregung zu dieser Arbeit und für das Interesse, das er dem Verlauf der Untersuchungen entgegenbrachte.

Literatur.

1) Ratnowsky, Verh. d. D. Phys. Ges. **15**, 497ff., 1913.
2) Herweg, Verh. d. D. Phys. Ges. **21**, 572—577, 1919; Zeitschr. f. Phys. **3**, 36—47, 1920; Physik. Zeitschr. **21**, 572—576, 1920; Herweg-Poetzsch, Zeitschr. f. Phys. **8**, 1—12, 1921.
3) Falckenberg, Ann. d. Phys. (4), **61**, 167—172, 1920.
4) John J. Dowling, Proc. Dublin Soc. (N. S.) **16**, Nr. 7, S. 175—184, 1921.
5) Ch. Francke, Ann. d. Phys. (4) **72**, Nr. 10, S. 159—182, 1925.
6) Grüneisen u. Merckel, Zeitschr. f. Phys. **2**, 296, 1920.
7) Debye, im Handb. d. Radiologie VI von Marx, 597ff.
8) Leiser, Abh. d. D. Bunsen-Ges. 1910.
9) Grenacher, Ann. d. Phys. (4), **72**, Nr. 10, S. 138, 1925.
10) Höjendahl, Nature 117, 892, Nr. 2956, 1926.

(Eingegangen 2. Januar 1928.)

Die Verlagerung der Reststrahlen ins sichtbare Spektralgebiet[1]).

Von Georg Joos.

Während wir für das Zustandekommen der Spektren der Atome und Moleküle im gasförmigen Aggregatzustand Vorstellungen besitzen, welche diese Spektren bis in die feinsten Einzelheiten wiederzugeben vermögen, sind die Absorptions- und Emissionsspektren von Kristallen, deren Linien bei tiefen Temperaturen denen der Gasspektren an Schärfe kaum nachstehen, theoretisch noch sehr wenig behandelt worden. Wenn man, wie es P. Ehrenfest[1]) getan hat, die Grundpostulate der Bohrschen Theorie auf die Kristallspektren überträgt, kommt man zu einer weitgehenden formalen Analogie mit der Theorie der Bandenspektren. Aus diesen noch ziemlich primitiven Ansätzen, die noch einer quantenmechanischen Vertiefung bedürfen, läßt sich eine für die Untersuchung der Reststrahlen nützliche Folgerung ziehen:

Bei den Molekülspektren besteht bekanntlich die in einem Elementarakt umgesetzte Energie $h\nu$ aus drei größenordnungsmäßig verschiedenen Anteilen, dem Elektronensprung, dem Sprung des intramolekularen Schwingungszustands und dem Sprung des Rotationszustands der Molekel. Ist der letzte, kleinste Anteil allein vorhanden, so fällt das emittierte Licht in das ferne U. R. in die Gegend von $100\,\mu$, also in ein für die experimentelle Untersuchung ungünstiges Spektralgebiet. Aus diesem Grund sind die reinen Rotationsspektren bisher noch wenig erforscht. Wenn wir trotzdem heute über die Daten des Rotationszustands der Molekeln sehr gut Bescheid wissen, so wurde diese Kenntnis in erster Linie durch die Analyse der sichtbaren und ultravioletten Banden gewonnen, bei deren Emission noch eine Änderung der beiden andern Teilbeträge stattfindet.

Diese Überlegungen lassen sich auf die Gitterschwingungen von Kristallen übertragen. Die Gitterschwingungen bewirken, wenigstens bei Ionengittern, die Emission bzw. Absorption einer ungefähr ins gleiche Spektralgebiet wie die Rotationsbanden fallenden Strahlung, der sogenannten Reststrahlen. Überlagern wir nun den Reststrahlen einen Elektronensprung, so rückt die ganze Erscheinung in das der Messung viel zugänglichere Spektralgebiet. Leider läßt sich dieser Gedanke gerade auf die einfachsten Kristalle, die Alkalihalogenide, nicht anwenden, und zwar aus folgendem Grund: In diesen Salzen setzt die Absorption des Anions bei viel kürzeren Wellenlängen ein als die des Kations. Die Absorption des Anions ist aber kontinuierlich, denn negative Ionen besitzen nach allem, was wir heute wissen, kein Linienspektrum, sondern nur ein Grenzkontinuum. Wir müssen also Umschau halten nach einem Salz, dessen Kationen in einem der Beobachtung gut zugänglichen Gebiet, wo andererseits die Anionen durchsichtig sind, absorbieren. Damit kommt man zwangsweise auf die Salze der Übergangselemente *Sc* bis *Cu* und ihre Homologe sowie auf die seltenen Erden. Es wäre aber eine Täuschung, wenn man als Träger der Farbe die freien Ionen annehmen

1) Vortrag auf der Tagung des Gauvereins Sachsen-Thüringen-Schlesien in Halle am 7. Januar 1928.

1) P. Ehrenfest, Kamerlingh-Onnes-Festschrift S. 362. Leiden 1922.

würde. Je weiter nämlich die Erforschung der höheren Funkenspektren vordringt, um so mehr Beweise treten zutage für die vom Verf.[1]) vor längerer Zeit der üblichen Auffassung entgegengesetzte Behauptung, daß die Träger der Farbe dieser Salze (und auch des Magnetismus) in Wirklichkeit durch völlige Umordnung und nicht durch stetige Deformation der Elektronenhüllen gebildete Komplexe sind, deren Farbe mit der der freien Ionen so wenig zu tun hat wie die Farbe des Jodmoleküls mit der des Jodatoms. So fällt nach der neuerdings von H. N. Russell und G. Lang[2]) durchgeführten Analyse des zweiten und dritten Funkenspektrums von Titan die Absorption von Ti^{++} nach 1300 A. E., diejenige von Ti^{3+} nach 780 A. E. im Gegensatz zu der tiefen Farbe der *Ti*-Salze im festen Zustand und in Lösung.

Die Notwendigkeit zu komplexen Kationen greifen zu müssen, bringt eine neue Mannigfaltigkeit herein. Wie bei den Gasmolekülen sind jetzt auch noch Oszillationen der Bestandteile des Komplexes zu erwarten, deren Frequenz von der Größenordnung der intramolekularen Oszillationen sein muß. Wir erhalten dann für die Kristalle ein den Bandenspektren sehr ähnliches Niveauschema: Über die Energiestufen der Elektronenzustände lagern sich wie bei den Molekülen die Stufen der intramolekularen Eigenschwingungen und über diese statt der im Gitterverband natürlich ausgeschlossenen Rotationsstufen die Stufen der Gitterschwingungen. Solange wir die Bindungen als rein harmonisch ansehen, sind die Stufen der intramolekularen Schwingungen und der Gitterschwingungen äquidistant in den Abständen $h\nu_{osz.}$ und $h\nu_{Gitter}$. Nach dem Korrespondenzprinzip dürften dann nur Quantensprünge um eine Einheit vorkommen. Die in Wirklichkeit stets unharmonische Bindung bewirkt indes einen Gang in den Abständen und vor allem das Vorkommen von Quantensprüngen um mehr als eine Einheit.

Wellenzahlendifferenzen, welche ihrer Größenordnung nach zu den intramolekularen Schwingungen gehören, sind bei den Absorptions- und Fluoreszenzspektren der Uranyldoppelsalze gefunden[3]) und auch von Ehrenfest in diesem Sinn gedeutet worden. Dagegen sind von Wellenzahldifferenzen, welche auf die Gitterschwingungen hinweisen, keine sicheren Anzeichen gefunden worden. Bei Aufnahmen der Absorptionsspektren von Chromkaliumselenatkristallen und homologer Chromdoppelsalze vom Alauntyp, welche im Jenaer Institut auf Veranlassung des Verf. von Herrn Sauer aufgenommen wurden und über die dieser an anderer Stelle ausführlich berichten wird, fanden sich Linienfolgen bis zu 11 Gliedern mit einem nahezu konstanten Abstand von 43 cm^{-1}. Deutet man diese Linienfolgen durch die Überlagerung der Gitterschwingungen auf einen Elektronen- und vielleicht auch einen Molekülschwingungssprung, so kommt man zu einer Reststrahlwellenlänge von 1/43 cm oder 232 μ. Leider liegen für diese Salze noch keine direkten Messungen der Reststrahlwellenlängen und keine zur Berechnung ausreichenden Angaben über die elastischen Eigenschaften vor, so daß ein Vergleich nicht möglich ist. Die Größenordnung paßt jedenfalls sehr gut zu dem, was bei der Schwere der Gitterbestandteile und der verhältnismäßig losen Bindung zu erwarten ist. Eine andere Folge von engen Dubletts im Abstand von 300 ν-Einheiten dürfte ihre Ursache in intramolekularen Schwingungen haben, deren Träger der Komplex $[Cr(H_2O)_{12}]^{+++}$ ist. Die Trennung der Schwingungen in solche der Gitterbestandteile als Ganzen und „inneren" Schwingungen der Komplexionen ist hier aus dem Grund berechtigt, weil die stärkste Linie — allerdings sehr verwaschen — auch noch in der wässerigen Lösung vorhanden ist, wo zwar noch intramolekulare, aber keine Gitterschwingungen mehr vorhanden sind.

Jena, Physikalisches Institut der Universität, Januar 1928.

(Eingegangen 25. Januar 1928.)

1) G. Joos, Ann. d. Phys. **81**, 1076, 1926.
2) H. N. Russell u. G. Lang, Astrophys. Journ. **66**, 13, 1927.
3) L. Nichols u. H. L. Howes, Phys. Rev. **11**, 285, 395, 1918; L. Nichols u. E. Merritt, Phys. Rev. **9**, 113, 1917.

Bemerkung zu der Arbeit: F. Ahlborn, Die Theorie der diskontinuierlichen Flüssigkeitsbewegungen und die Wirklichkeit.

Von L. Prandtl.

Herr F. Ahlborn, dem man die Durchbildung mehrerer Methoden zur Herstellung von schönen Stromlinienbildern der Wasserbewegung verdankt, hat in einem kürzlich in dieser Zeitschrift erschienenen Aufsatz[1]) seine Anschauungen über das Zustandekommen der Wirbel dargelegt und sich mit den Auffassungen von Helmholtz, Lord Kelvin, Lanchester und mir auseinandergesetzt. Ich kann seinen Ausführungen nur zum Teil folgen und möchte die Leser dieser Zeitschrift auf eine sehr ausführliche Diskussion dieses Gegenstandes in dem in Kürze erscheinenden Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt hinweisen, wo ich meine Anschauung eingehend dargelegt habe. Weiter erlaube

1) Diese Zeitschrift **1**, 34, 1928.

ich mir, darauf hinzuweisen, daß eine systematische Darstellung des ganzen hier in Frage kommenden Gebietes in einem Beitrag von mir zu dem Mechanikband des Physiklehrbuches Müller-Pouillet enthalten sein wird, der im Laufe dieses Jahres erscheinen wird. Ich erwähne hier nur, daß dort die Helmholtzsche Lehre von den Diskontinuitäten mit derjenigen von den Grenzschichten in schwach reibenden Flüssigkeiten so verschmolzen ist, daß die Übereinstimmung der Aussagen der Theorie mit den wirklich beobachteten Vorgängen sehr befriedigend geworden ist. Dabei ist man natürlich immer noch weit davon entfernt, die wirklichen Vorgänge in ihrem ganzen Verlauf rechnerisch zu verfolgen, so daß der Versuch bei der Erforschung der Vorgänge nicht entbehrt werden kann.

Göttingen, den 28. Januar 1928.

(Eingegangen 1. Februar 1928.)

BESPRECHUNGEN.

Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt und dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Metallforschung in Berlin-Dahlem. Sonderheft Nr. 11. Gr. 8⁰. 279 Seiten mit 316 Abbildungen. Berlin, Julius Springer. 1926. M. 21.—.

In diesem Sonderheft sind eine Reihe von Aufsätzen zusammengefaßt, die bereits an anderer Stelle abgedruckt waren. Bei der großen Fülle des hier gebotenen Stoffes ist es nicht möglich, die Ergebnisse der einzelnen Arbeiten eingehend wiederzugeben, es kann vielmehr nur auf die wichtigsten kurz hingewiesen werden. Die einzelnen Veröffentlichungen behandeln:

O. Bauer u. W. Heidenhain, Das Verhalten von Aluminium-Zink-Legierungen. Durch Ermittlung einiger physikalischer Eigenschaften wird versucht, eine Entscheidung zwischen den verschiedenen angegebenen Zustandsschaubildern zu erlangen. Der Verlauf der Kurven der Schwingung, der Schlagfestigkeit und des Korrosionswiderstandes schließen sich dem Bauer-Vogelschen Zustandsdiagramm gut an. Die Legierungen mit 0,75—83 Proz. *Al* arbeiten infolge allmählicher Aufspaltung der chemischen Verbindung Al_2Zn_3, was für den Spritz- und Fertigguß von Bedeutung ist.

O. Bauer u. O. Vollenbruck, Die Härte der Kupfer-Zinn-Legierungen. Die Brinellhärte erreicht einen Größtwert bei der der Verbindung Cu_4Sn entsprechenden Zusammensetzung. Nach Einstellung des Gefügegleichgewichtes ist die Härte durch Erhitzen oder Abschrecken nicht zu beeinflussen.

O. Bauer u. H. Arndt, Das Verhalten einiger Metalle und Legierungen gegenüber der Einwirkung von Plastilin und freiem Schwefel. Der Angriff durch Schwefel und schwefelhaltige Stoffe nimmt in der Reihenfolge: *Cu, Pb* ab und ist bei *Al, Sn, Zn, Mn* kaum oder überhaupt nicht zu bemerken. In Legierungen wirkt am günstigsten Zusatz von *Mn*, nächstdem von *Zn, Al* und *Sn*.

G. Sachs, Festigkeitsuntersuchungen an Zink. Es werden die Festigkeitseigenschaften von kaltverformtem *Zn* in Abhängigkeit vom Walzgrad, Versuchsdauer, Glühtemperatur und Orientierung untersucht. Bei kaltgewalztem und bei Raumtemperatur gelagertem *Zn* war keine Änderung der Festigkeit und auch keine Rekristallisation zu beobachten.

F. Saeftel u. G. Sachs, Festigkeitseigenschaften und Struktur einiger begrenzter Mischkristallreihen. Es werden die Festigkeitseigenschaften einiger binärer *Ag*-reicher Mischkristalle bestimmt. Aus ihnen und der Struktur ergeben sich dabei neue Erkenntnisse bezüglich der Mischkristallgrenzen. Ähnlichkeit im Zustandsschaubild hat ihr Analogon im mechanischen Verhalten. Durch Legierungszusätze, die in feste Lösung gehen, wird der Verformungswiderstand (und ähnlich auch der Trennungswiderstand) meist herauf-, die Formänderungsfähigkeit herabgesetzt, die Dehnung (die die Verfestigungsfähigkeit des Stoffes mißt) häufig erhöht.

E. Schiebold, Die Verfestigungsfrage vom Standpunkt der Röntgenforschung. Die Theorien der plastischen Formänderung und Verfestigung werden im wesentlichen von dem (dem Röntgenversuch allein zugänglichen) kristallstrukturellen Standpunkt aus beurteilt, der auf die Theorie der „Biegegleitung" führt, die allerdings noch eines weiteren Ausbaus bedarf (was auch bezüglich der Kenntnis des Zustandes der Grenzflächen längs der Gleitschichten gilt).

G. Sachs, Die Härtung der Metalle. Die Verfestigung durch Kaltverformung wird auf Gitterstörungen, Verkrümmungen der Gleitebenen oder Entstehung elastischer Spannungen zurückgeführt. Ebenso beruht die Härtung der Legierungen auf Verkrümmung der Gleitflächen durch den Eintritt von Atomen in das Gitter, die von den anderen Atomen in ihrer Größe oder ihrem Bau abweichen. Die Härtung durch Wärmebehandlung zeigt die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie die Verfestigung.

G. Sachs, Zur Analyse des Zerreißversuches. Aus der Diskussion der Spannungs-Querschnittskurve wird eine Reihe von Folgerungen abgeleitet.

E. Seidl u. E. Schiebold, Das Verhalten inhomogener Aluminium-Gußblöckchen beim Kaltwalzen. Die makroskopische, mikroskopische, röntgenographische und Festigkeits-Untersuchung des Verhaltens von *Al*-Gußblöcken mit verschieden geformten und gelagerten Kristallen beim Kaltwalzen zeigt, daß sich die Kristalle und Kristallteilchen einer durch den Walzvorgang und den kristallographischen Aufbau gegebenen Endlage (Walztextur) zu nähern suchen, daß das Gußgefüge von großem Einfluß auf die Weiterverarbeitung auf mechanischem Wege ist, und daß sich durch Wahl einer anderen Richtung die Bearbeitbarkeit eines Gußblockes verbessern läßt.

G. Sachs u. E. Schiebold, Wechselseitige Druckversuche an Aluminium. Durch das wechselseitige Stauchen von *Al*-Würfeln wird eine ständig wachsende Verfestigung erzielt, der Reflexionsunterschied zwischen den einzelnen Körnern verwischt und stellen sich die Gitterwürfel in drei gleichwertige Lagen ein.

M. Polanyi u. G. Sachs, Über Auslösen innerer Spannungen durch Glühen. Aus Beobachtungen der beim Glühen von kaltverdrilltem Elektrolytkupfer auftretenden Verformungen folgt, daß Temperaturen bis 100^0 kaum wirksam sind, und daß der Größtwert der Rückdrillung bei einer bestimmten vom Verformungsgrad abhängigen Temperatur eintritt.

M. Polanyi u. G. Sachs, Über elastische Hysteresis und innere Spannungen in gebogenen Steinsalzkristallen. Die Elastizitätsgrenze von geglühtem und von poliertem Steinsalz wird zu unter 200 bzw. 500 g/mm² ermittelt. Vor Eintritt des Bruches wird stets bleibende Formänderung, nach plastischer Durchbiegung elastische Hysteresis beobachtet. Durch Ablösen der Oberflächenschichten lassen sich innere Spannungen nachweisen.

E. Schiebold, Über graphische Auswertung von Röntgenphotogrammen. Es werden die Eigenschaften des Laue-Diagramms als „Reflexprojektion" diskutiert und gezeigt, wie dieses in Verbindung mit einem Reflexnetz zur Goniometrie des Kristalls mit Hilfe von Röntgenstrahlen verwendet werden kann. Weiter wird auf graphische Methoden beim Laue-, beim Drehkristall-, beim Debye-Scherrer-Verfahren und bei der Bestimmung von Kristallanordnungen eingegangen.

G. Sachs u. E. Schiebold, Über Gitterlagen in deformierten Metallkristallen und Kristallhaufwerken. An Kristallen und Kristallhaufwerken von *Al* werden die bisherigen Deformationstexturen nachgeprüft und einige neue festgestellt.

K. Weißenberg, Der Aufbau der Kristalle. I. Die Systematik der Symmetriegruppen von Punktlagen im Diskontinuum. II. Atomgruppen im Kristall und ihre physikalische Bedeutung. Im ersten Teil wird in großen Zügen eine erschöpfende Systematik der anisotropen homogenen Diskontinua (im wesentlichen nach Schoenflies) und ferner vom Standpunkt der Decktransformation des Diskontinuums eine vollständige Systematik der Gruppen von Symmetrieelementen entwickelt, die einen Punkt in sich überführen können, und mit ihrer Hilfe die Ergebnisse der röntgenographischen Strukturforschung diskutiert. Im zweiten Teil wird eine vollständige Systematik für alle in einem Kristall dynamisch definierten Atomgruppen (Dynaden) abgeleitet und Tabellen angegeben, die gestatten, alle Atomgruppen des Kristalls bei gegebenem Gitter unmittelbar abzulesen.

Berndt.

Pautsch, Methode of applied geophysics for the exploration of oil, ores and other useful deposits. $19^1/_2 \times 26^1/_2$. 82 S., 50 Fig. Houston, Texas. 1927. Bezug für Deutschland: R. Pautsch, Harburg-Wilhelmsburg 4. M. 5.—.

Der Verf. gibt eine Übersicht über die Methoden zur Erforschung der obersten Erdschichten (geophysikalische Aufschlußmethoden). Er betont einleitend, daß diese Methoden seither ein sorgsam gehütetes Geheimnis weniger Gelehrter gewesen seien. Leider geben auch seine Darlegungen nichts über die praktische Durchführung der verschiedenen Methoden; die theoretischen Grundlagen sind mindestens in Deutschland schon eingehender zusammengestellt und wenigstens durch einige Beispiele aus der Praxis belegt worden, die hier nur schematisch angedeutet sind.

Nach einer allgemeinen Einleitung geht der Verf. auf 22 Seiten auf die Drehwage und die Schweremessungen ein. Er gibt die Grundgleichungen und zeichnet Gradienten für einige spezielle Formen von störenden Körpern. Bei der folgenden seismischen Methode skizziert der Verf. den Wellenverlauf und die Laufzeitkurven, er gibt die Grundgleichungen, und die Grundformen der Seismometer. Hinweise auf die Praxis fehlen völlig. Die akustische Methode wird kurz erörtert. Die magnetische Methode kommt mit $7^1/_2$ Seiten zu kurz. Verhältnismäßig eingehend werden die elektrischen Methoden behandelt, und zum Schlusse 1 Seite der radioaktiven Methode gewidmet. Das Buch gibt eine knappe, durch die grundlegenden mathematischen Beziehungen gestützte Einführung in die Grundlagen der Theorie der verschiedenen Methoden, über die, wie erwähnt, sowohl theoretisch wie praktisch bereits viel weitergehende Veröffentlichungen in Deutschland erschienen sind.

Gutenberg.

A. Gyemant, Grundzüge der Kolloidphysik vom Standpunkte des Gleichgewichts. 8^0. 93 S. Mit 9 Abb. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn. A.-G. Geh. M. 4.50.

Das eigenartige Entgegenwirken von Oberflächenspannung und elektrostatischer Abstoßung, kompliziert durch die Wärmebewegung, das die kolloiden Erscheinungen ausmacht, ist, zum Teil auch durch die Arbeiten des Verfassers, nicht mehr Domäne der Chemie geblieben. In dem vorliegenden Heft werden die exakten mathematischen Formulierungen dieser Fragen gebracht, und man wundert sich, wie wenig „kolloidal" doch die Kolloidchemie mehr ist! Den Anschluß ans Experiment vermißt man freilich in der Darstellung etwas.

G.-M. Schwab.

Personalien.

(Der Herausgeber bittet die Herren Fachgenossen, der Schriftleitung von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Ernannt: Der a. o. Professor an der Technischen Hochschule Karlsruhe Dr. Hans Reihlen zum a. o. Professor für anorganische und analytische Chemie an der Universität Tübingen, der Privatdozent der Chemie an der Universität Berlin Dr. Walter Schrauth zum Leiter der Deutschen Hydrierwerke in Rodleben bei Roßlau, der Privatdozent der Chemie an der Universität München Dr. Ernst Waldschmidt-Leitz zum Professor der Biochemie an der Technischen Hochschule in Prag, der Privatdozent an der Universität Wien Dr. Reinhard Seka zum a. o. Professor der organisch-chemischen Technologie an der Technischen Hochschule Graz.

Gestorben: Der frühere ord. Professor der anorganischen Chemie an der Universität Heidelberg Geheimer Rat Dr. Theodor Curtius, der langjährige Schriftleiter chemisch-technologischer Fachblätter Dr. Ing. Oskar Markfeld in Berlin, der frühere ord. Professor der Experimentalphysik und Naturwissenschaften an der Universität Leiden Dr. Hendrik Antoon Lorentz, der ord. Professor für Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Danzig Geh. Regierungsrat Dr. Gustav Roeßler, der emeritierte ord. Professor der anorganisch-chemischen Technologie und analytischen Chemie an der Technischen Hochschule Graz Hofrat Dr. Benjamin Reinitzer.

Für die Schriftleitung verantwortlich Prof. Dr. F. Harms in Würzburg. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.